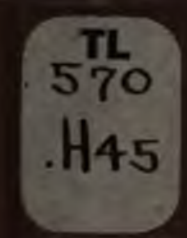

TL
570
.H45


THE LIBRARY OF CONGRESS
1800



ETUDE DU MOUVEMENT

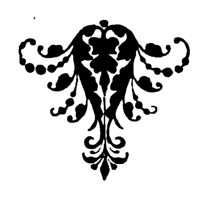
D'UN

Aviateur-Aéroplane

PAR

L.-I. HENRY

INGÉNIEUR EN CHEF DE LA MARINE



NANTES

IMPRIMERIE MAURICE SCHWOB & Cie — PLACE DU COMMERCE, 12

—

1902

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE DE L'ACTION DE L'AIR
SUR UNE SURFACE PLANE EN MOUVEMENT RELATIF
EXPÉRIENCES A FAIRE.

PREMIÈRE PARTIE

Etude de l'action de l'air sur une surface plane en mouvement relatif.

Expériences à faire.

Soit une surface plane et unie, frappée par un vent relatif uniforme, c'est-à-dire dans lequel toutes les molécules d'air, considérées dans une région où la présence du plan frappé ne trouble pas encore leur mouvement, ont des vitesses relatives à lui égales et parallèles.

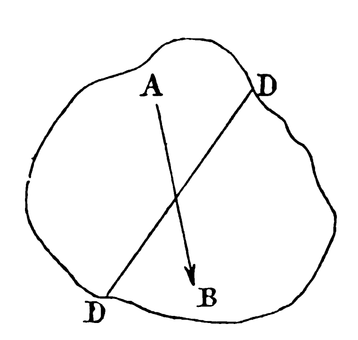
L'action du vent en un quelconque des points du plan frappé où elle s'exerce, a une composante normale au plan, et une dans le plan : les composantes normales donnent une résultante normale N ; les composantes dans le plan donnent théoriquement une résultante et un couple dans ce plan : expérimentalement, cette résultante et ce couple sont nuls dans le cas de l'air, et l'action totale du vent se réduit à la force unique N.

Sa direction est normale au plan, de façon à faire avec la ligne *vr* de vent relatif un angle aigu, complémentaire de l'angle α de ce vent avec le plan. Quant à sa grandeur, et à la situation de son point d'application, elles sont fonctions :

— En ce qui concerne le plan : 1° de l'étendue de la surface frappée *s* ; 2° de la configuration *cf* que présente cette surface ; 3° la nature de la matière dont le plan est fait, peut aussi avoir quelque influence, par suite de la plus ou moins grande rugosité qu'offrira la surface frappée, et de sa plus ou moins grande imperméabilité à l'air. Mais cette matière sera surtout choisie d'après les conditions impératives de résistance et de légèreté qu'elle devra remplir.

— En ce qui concerne le vent relatif : 4° de la situation de sa projection sur le plan par rapport à une direction repère tracée sur lui, autrement dit

de ce que nous appellerons son azimut *az* ; (qui serait déterminé dans la figure ci-dessous, par exemple par l'angle de la projection AB du vent relatif avec la ligne repère DD invariablement liée au contour de la surface) ; 5° de l'angle α du vent relatif avec sa projection sur le plan : 6° de la vitesse *vr* relative du vent ; 7° de l'état physique de l'air (résultant de sa pression, de son degré d'humidité, de sa température).



Pour une nature de matière donnée dont est constitué le plan, et pour un air donné, d'état physique déterminé, la grandeur de la force N et la situation de son point d'application ou point d'impact, restent fonctions des cinq variables *(s, cf, az,* α, *vr.)*

Que sait-on expérimentalement, sur les variations de N selon celles de chacune de ces cinq variables ? Et sur la position de son point d'application ?

GRANDEUR DE L'ACTION N

Dans le cas particulier où $\alpha = 90°$, c'est-à-dire où le vent relatif est normal au plan frappé, l'azimut n'intervient pas ; de plus, les expériences de l'américain Langley ont établi que, dans ce cas, la valeur de $N_{90°}$ n'est que très peu influencée par la configuration, et qu'elle est sensiblement proportionnelle au carré de la vitesse du vent relatif, soit à $\overline{vr}^2$; on admet enfin qu'elle est proportionnelle à la surface frappée ; dans ce cas donc, N_{90} n'est fonction que de *s* et de *vr*, et peut être représentée par une formule $N_{90°} = K\ s\ \overline{vr}^2$.

M. Langley a trouvé en poussant *vr* jusqu'à 100 kilomètres à l'heure, que K était compris entre 0^k07 et 0^k09, les unités étant le mètre et le kilogramme. MM. Cailletet et Colardeau ont trouvé 0^k071 en laissant tomber de la tour Eiffel des plans lestés par des poids variés.

Le numéro du 1er décembre 1894 du journal *La Nature* cite une expérience effectuée par M. Kœchlin sur la tour Eiffel, et dans laquelle l'effort par mètre carré exercé par un vent de 45 mètres de vitesse relative par seconde (162 kilomètres à l'heure), et normal à la surface frappée a varié entre 100 et 150 kilogrammes. En moyenne, cela correspond à une valeur de K égale à 0^k06, que nous adopterons à l'occasion.

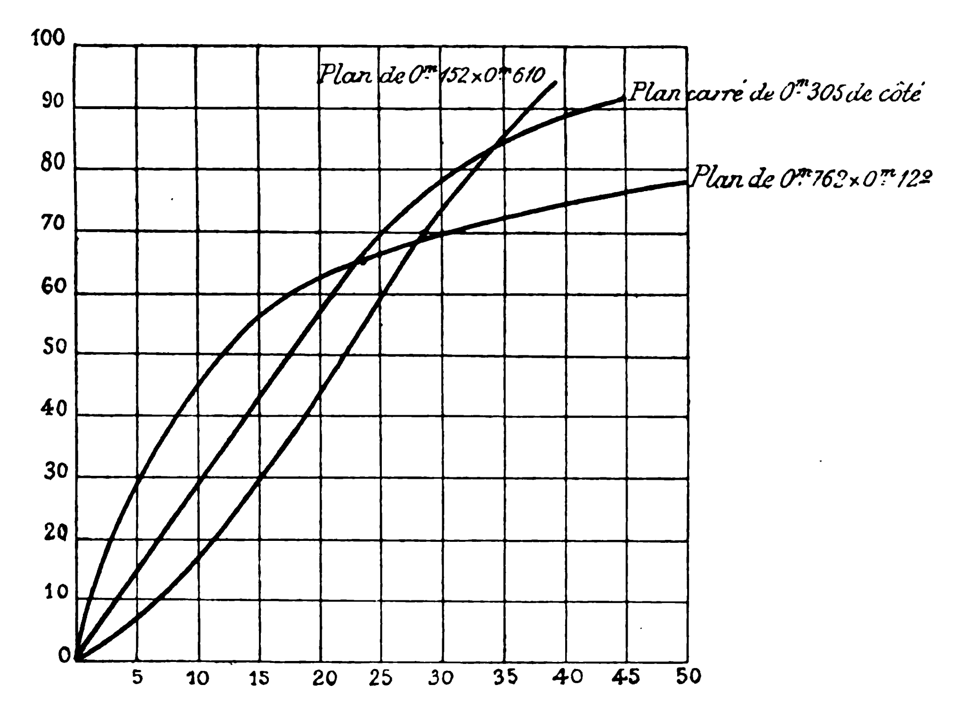
Pour étudier l'influence de l'angle α, M. Langley a expérimenté sur trois plans ayant même surface (929 centimètres carrés).

1° Un carré de 0m305 de côté, l'azimut du vent étant toujours parallèle à un côté.

2° Un rectangle ayant 0m762 sur 0m122, l'azimut du vent restant toujours parallèle au petit côté.

3° Un rectangle ayant 0m152 sur 0m610, l'azimut du vent restant toujours parallèle au grand côté.

La figure donne, pour chacun de ces 3 cas, la courbe du rapport $\frac{N_\alpha}{N_{90^\circ}}$ en ordonnées, les angles α étant en abscisses.



Abscisses : Angle du plan avec l'horizon.
Ordonnées : $\frac{N_\alpha}{N_{90^\circ}}$ exprimé en centièmes.

Dans le cas du carré, l'ordonnée $\frac{N_\alpha}{N_{90^\circ}}$ est sensiblement représentée par l'expression :

$$\frac{N_\alpha}{N_{90^\circ}} = \frac{2 \sin \alpha}{1 + \sin^2 \alpha}$$

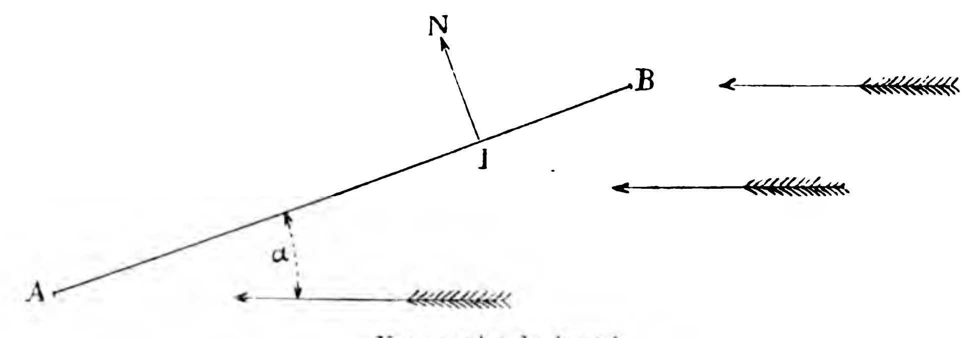
donnée par le colonel Duchemin.

On remarque que : 1° les trois courbes passant par l'origine : N_α est nul pour $\alpha = o$; 2° les courbes se rencontrent sensiblement en un même point pour $\alpha = 30°$, environ, la courbe la plus élevée jusque là devenant celle qui l'est le moins, et réciproquement.

Ainsi, on a une formule reliant N aux variables seulement dans le cas du vent normal au plan frappé ; quand il ne l'est pas, on ne sait quelque chose de la variation de N — et en fonction de α seulement — que dans les cas très particuliers qui viennent d'être cités.

POINT D'IMPACT

Relativement à la situation du point d'application de l'action du vent sur le plan, on ne connaît rien. On peut seulement pressentir que, pour un azimut de vent donné, ce point varie de position avec l'angle α tout au moins ; c'est ce qui a été observé pour l'eau dans les expériences que fit l'Ingénieur de la Marine Joessel, en 1873, à Indret, en soumettant à l'action de la Loire (de vitesse variable entre 0^m74 et 1^m32 par seconde), des plaques rectangulaires en tôle, ayant leurs arêtes verticales et horizontales. Il trouva ainsi que le point d'application de l'effort de l'eau était à une distance de l'arrête verticale d'amont de la plaque égale à $L\ (0{,}195 + 0{,}305\ \sin\alpha)$, soit sensiblement $L\ (0{,}2 + 0{,}3\ \sin\alpha)$, L désignant ici la dimension horizontale de la plaque, parallèle à la projection sur celle-ci de la vitesse des molécules liquides, et représentant par conséquent l'azimut du fluide en mouvement relatif, et α désignant l'angle de la plaque avec le courant.



Vue en plan horizontal

AB étant la longueur totale du rectangle frappé par l'eau, I le point d'impact, la *fraction d'impact*, soit le rapport $\frac{IB}{IA}$, (B étant la projection de l'arête verticale d'amont), est égale, d'après la loi Joessel, pour toute

surface, pour toute configuration rectangulaire, pour l'azimut parallèle à un côté du rectangle et pour toute vitesse du fluide à

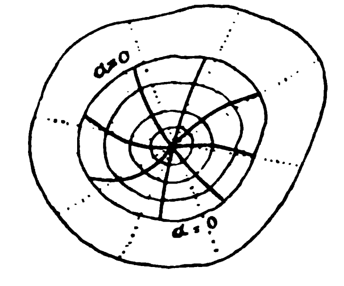
$$f_{\alpha} = 0{,}2 + 0{,}3 \sin \alpha$$

Pour $\alpha = 90^{\circ}$, la fraction d'impact sur le rectangle est certainement par raison de symétrie égale à 0,5 ; c'est là sa valeur maximum et le point d'impact est toujours sur la moitié d'amont du rectangle.

Cet exemple très particulier n'est cité qu'à l'appui de l'idée que, vraisemblablement, le point d'application de l'action du vent sur un plan doit varier en position avec toutes les circonstances énumérées plus haut.

D'une façon générale, les vents d'un même azimut faisant avec le plan des angles variant de 0° à 90°, donnent des points d'impact différents dont le lieu est une courbe, *iz*, dite isoazimutale, partant d'un point situé à une certaine distance du contour de la surface et correspondant à $\alpha = 0$, et aboutissant au point d'impact du vent normal, point qui est toujours le même. Les courbes isoazimutales rayonnent de lui.

On peut joindre les points des différentes courbes isoazimutales qui correspondent à un même angle α, on a ainsi une courbe isocline. Les courbes isoclines sont des courbes fermées situées à l'intérieur les unes des autres et enfermant toutes le point d'impact du vent normal.



Le réseau des points d'impact aura donc la forme donnée par la figure ci-contre.

Le réseau variera naturellement avec la configuration.

Maintenant, des surfaces semblables auront-elles des réseaux semblables et semblablement placés ? — Le réseau est-il indépendant de la vitesse du vent frappant ?

Il est naturel de le penser, mais il appartient à l'expérience de répondre.

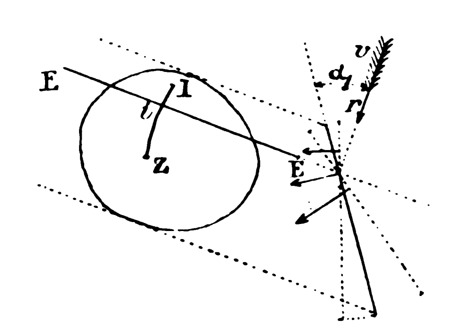
Si en tout point d'un réseau, on porte sur une normale au plan, une longueur représentant l'action N du vent qui a ce point pour point d'impact et est animé de la vitesse 1, le réseau donnera lieu à une surface des extrémités des forces N, surface dont le sommet correspondra au point d'impact du vent normal, donnant l'action maximum, et qui reposera sur le plan par la ligne isocline pour $\alpha = 0$, courant à une certaine distance du bord du plan.

Cette surface est caractéristique du plan frappé. Quand la vitesse du vent, au lieu d'être l'unité, est *vr*, ce vent donne une nouvelle surface, qui est vraisemblablement la première dont chaque ordonnée normale au plan est multipliée par $\overline{vr}^2$.

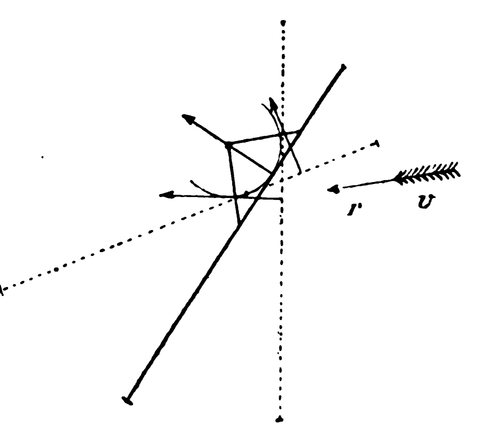
EXPÉRIENCES A FAIRE — PRINCIPE

En résumé, on a de très rares données sur la grandeur N, aucune sur la position de son point d'application. Voici quelles expériences on pourrait faire pour agrandir et compléter autant que besoin ces connaissances.

Elles seraient basées sur le principe suivant :



Soit une surface plane d'étendue et de configuration déterminées, mobile autour d'un axe EE (axe d'emmanchement), qu'elle contient, et soumise à des vents d'inclinaison variable, mais ayant un azimut unique, perpendiculaire à EE, tous ces vents de même vitesse et dus à un air de même état physique donneraient lieu à des points d'impact dont le lieu géométrique est une courbe isoazimutale IZ ; pour une certaine valeur α_1 de l'inclinaison du vent, le point d'impact est en *i*, intersection de cette courbe isoazimutale et de EE ; pour une inclinaison plus grande, il se rapproche de Z ; pour une inclinaison plus faible, il se rapproche de I. Si on suppose que le centre de gravité du plan soit exactement sur EE on voit facilement que frappé par le vent, ce plan fou sur EE, s'orientera automatiquement et stablement de façon à faire l'angle α_1 avec le vent, l'action de celui-ci entrant seule en jeu pour faire tourner le plan autour de EE, et tendant toujours à le ramener à cette position, s'il en est écarté.



Au lieu d'être contenu dans la surface, l'axe EE peut aussi lui être simplement parallèle, tout en étant situé à une certaine distance : l'orientation automatique et stable aura encore lieu, à la même condition que le centre de gravité du système mobile soit sur EE.

APPAREIL D'EXPÉRIENCES

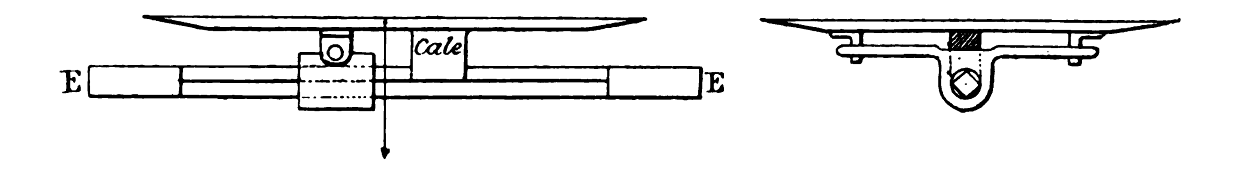
L'expérience faite en application de ce principe, pourra être disposée comme suit :

Sur deux cables parallèles de direction inclinée sur l'horizontale, dirigés suivant la ligne de plus grande pente du plan qu'ils déterminent, on laissera rouler, sous l'action de la pesanteur, par air parfaitement calme, un charriot à 4 roues, portant les paliers de l'axe de rotation EE du plan soumis à l'expérience.

L'appareil mobile, ayant son centre de gravité sur EE, rencontre en roulant un vent relatif, dont la vitesse est égale et directement opposée à celle du mouvement de translation de l'appareil ; le point d'application de l'action de ce vent sera, à tout instant,. comme on l'a vu plus haut, situé sur EE.

Si on relève à chaque instant du temps, 1° la position du système mobile sur sa trajectoire, 2° l'angle que fait le plan mobile avec cette trajectoire, on aura tous les éléments variables de la question ; on connaît en effet, en ce qui concerne le plan, la matière dont il est fait, sa surface, sa configuration ; en ce qui concerne le vent relatif : son azimut (ligne du plan perpendiculaire à EE) ; son inclinaison (relevée expérimentalement), sa vitesse (relevée de même), et l'état physique de l'air frappant connu par les instruments appropriés.

En ce qui est relatif à l'action N, on connaît sa direction normale au plan ; on déduit sa grandeur de la connaissance du mouvement de l'appareil mobile, à condition qu'on ait déterminé, par une expérience préalable, dans laquelle l'équipage roulant ne recevra aucun plan d'essai, les forces retardatrices, autres que l'action du vent sur le plan, qui lui sont appliquées. Enfin, quant au point d'application de N, ou point d'impact, on sait seulement qu'il est sur EE ; mais en quel point de cette ligne ? Il faudra le déterminer par tâtonnement de la façon suivante : la surface plane expérimentée sera mobile aussi autour d'un axe perpendiculaire à EE, et déplaçable



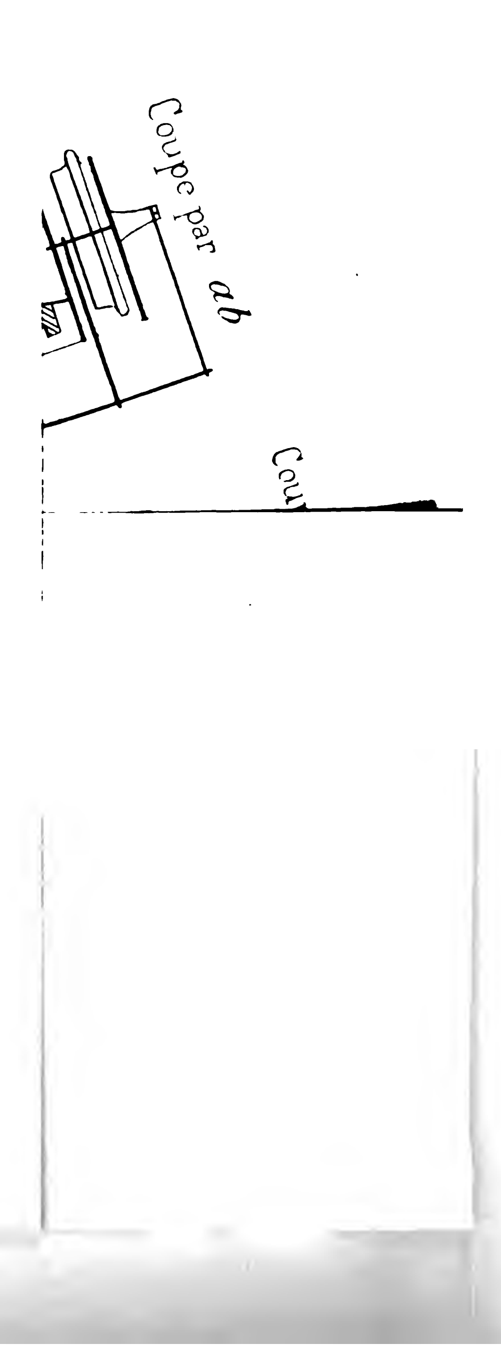
parallèlement à cette surface ; on voit par la figure que celle-ci basculera quand cet axe dépassera d'un certain côté la position où il est rencontré par l'action du vent, la surface étant jusque là soutenue par une cale ; on fera donc plusieurs expériences en déplaçant l'axe, dont il vient d'être parlé, par rapport à la surface, et on notera à quel moment et en quel point de la trajectoire le mouvement de bascule du plan se produit.

Les expériences faites ainsi, pour une position donnée de l'axe EE, donneront tout au moins un point d'impact pour une certaine valeur de α, si, comme nous le pensons, le point d'impact est indépendant de la vitesse de vent relatif, toutes choses égales d'ailleurs ; en donnant ensuite à l'axe EE, par rapport au plan, une série de positions parallèles à la première, on obtiendra une courbe d'impact isoazimutale, pour l'azimut perpendiculaire à la direction constante de l'axe EE. On fera ensuite une autre série d'expériences pour une autre direction de cet axe par rapport à la configuration du plan ; on aura une autre courbe isoazimutale ; ainsi de suite.

Dans chaque cas, le centre de gravité de l'appareil roulant doit être sur EE ; or, pour les petites valeurs de α, qu'il y a lieu de croire être très intéressantes, il faudra pour qu'il n'y ait pas d'action perturbatrice du vent sur la tranche du plan matériel, que celle-ci n'offre pas une surface appréciable à son action, et soit taillée en biseau effilé, ne causant qu'un frottement négligeable de l'air ; tout le pourtour doit être ainsi, et le plan doit être mince ; il paraît en résulter pratiquement de grandes difficultés de construction pour remplir la condition, qui vient d'être rappelée que le centre de gravité soit toujours sur l'axe EE ; la seule solution pratique paraît être de placer sur l'axe de rotation horizontal du plan expérimenté des cylindres concentriques à cet axe et contenant à leur intérieur des masses de plomb variables et d'excentricité réglable à volonté. L'action du vent sur la surface extérieure de ces cylindres passe toujours par l'axe EE et n'est pas plus perturbatrice que la pesanteur pour le but que l'on se propose. On voit ces cylindres, dits équilibreurs, dans la figure d'ensemble donnée ci-après :

ique

.OULANT



LÉGENDE DU PLAN

Le plan d'ensemble donné ici n'est que schématique, et ne comporte ni cotes ni proportions.

C cylindre équilibreur.

EE axe d'emmanchement portant le plan P à expérimenter.

D disque claveté sur EE, tournant avec cet axe et le plan P ; il est encoché régulièrement sur ses bords.

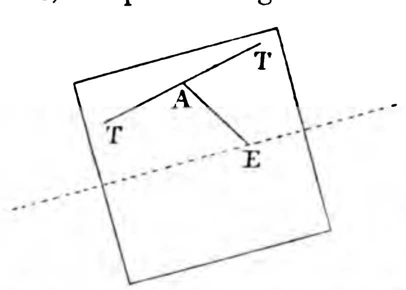
M manivelle tournant autour de EE, et dont un doigt *d* vient se fixer en toute encoche que l'on veut de D (devra avoir la forme d'un disque centré sur EE pour que l'action du vent sur elle passe par cet axe). *tt* tringles et bielles reliant la manivelle M au crayon traçeur ; *ct* crayon traçant sur le tableau *ta* animé d'un mouvement relatif longitudinal, commandé par la rotation du tambour T autour duquel est enroulé un cordage faisant point fixe sur le tambour T_1.

MF montants fixes d'une charpente installée en haut du chemin de roulement.

Parvenu au bas de ce chemin, l'appareil rencontre par ses deux longerons deux ressorts, par l'intermédiaire desquels il agit progressivement sur une traverse perpendiculaire aux aussières de roulement et guidée par elles, et ceinturée d'autre part d'une aussière d'arrêt dont les extrémités sont attachées à des bosses en filin cassantes : l'appareil étant ainsi arrêté comme un bateau qu'on lance à l'eau, on le remonte en agissant, en haut du chemin de roulement, par une manivelle, sur le tambour T_1 de façon à enrouler autour de lui le cordage déroulé du tambour T pendant la descente. L'appareil parvenu en haut sera attaché à un point fixe : on permutera alors de place les deux tambours qui sont identiques, en enlevant leur ensemble et le tournant de 180° : on remettra en place le tableau *ta* à l'aide du carré *c*, on changera le papier porté par ce tableau. On disposera le plan P pour la nouvelle expérience, on changera s'il y a lieu l'encoche du doigt *d* et on règlera le poids total de l'appareil, comme il est dit plus loin, à l'aide des poids mis dans les cylindres équilibreurs. Pendant ce temps, on refera au pied du chemin de roulement les bosses cassantes, et l'appareil sera prêt pour une nouvelle descente. Il n'y aura plus qu'à larguer son attache à la charpente fixe.

Pour faire le relevé, en fonction du temps, du mouvement de l'équipage mobile, sur sa trajectoire, on aura à terre un chronographe mesurant le temps, avec déroulement d'un papier proportionnellement au temps ; le chemin de roulement comportera d'autre part des portions conductrices électriquement, alternant avec d'autres isolées ; aux moments des passages aux points de séparation, une ouverture ou fermeture de circuit s'inscrira sur le papier chronographe. On aura ainsi, en fonction du temps, l'espace parcouru, la vitesse, l'accélération.

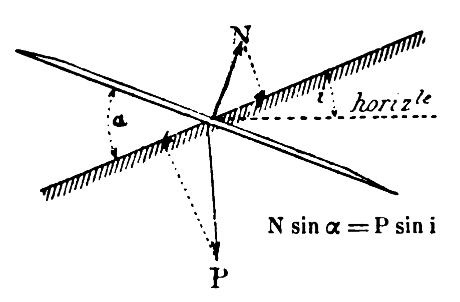
Pour connaître à tout instant l'angle α, on munira l'axe EE de tiges parallèles au plan expérimenté, ou faisant avec lui un angle connu : les extrémités de ces tiges seront munies de crayons à ressort, traçant sur des feuilles de papier emportées par le charriot, mais animées par rapport à lui d'un mouvement relatif connu, par exemple un mouvement lent de translation, dans le sens du mouvement de l'équipage mobile, ou dans le sens contraire, et bien proportionnel à ce dernier ; dans ce but, on les actionnera par transformation du mouvement de roulement des roues mêmes du charriot mobile, si on est certain que ce roulement ne peut être entrecoupé de glissements, ou, dans le cas contraire, du mouvement de rotation d'un tambour faisant partie de l'appareil, déroulant un cordage à point fixe en dehors de l'appareil, et tournant bien proportionnellement à l'espace parcouru par l'équipage roulant ; ceci nécessitera qu'un frein suffisant soit disposé, à l'effet de s'opposer à la rotation du tambour T dans la mesure voulue pour que, en tout temps, la chaînette formée par le cordage déroulé soit assez tendue, et que sa longueur ne diffère pas sensiblement de celle du chemin parcouru. On saura ainsi à quel moment du temps et en quel point de la trajectoire l'axe EE se projetait sur la feuille en E ; connaissant la longueur EA du bras porte-crayon supposé fixé directement à cet axe on déterminera sur la trajectoire relative TT de son extrémité tracée par le crayon la position simultanée A de cette extrémité, d'où celle du bras et du plan. (Dans le cas de l'appareil, dont un croquis est donné, une autre construction géométrique du point A serait nécessaire, le bras porte-crayon n'étant pas fixé directement à l'axe EE).



Il convient de remarquer que si, ainsi que cela nous parait très probable, le point d'impact, toutes choses égales d'ailleurs, est indépendant de la vitesse du vent relatif, l'angle α ne variera pas tout le long d'une

trajectoire de l'équipage mobile, et la ligne TT sera parallèle au chemin de roulement.

La vitesse de translation de l'appareil, nulle au point de départ, augmente progressivement jusqu'à une limite, qu'elle ne peut dépasser, pour laquelle — en ne tenant pas compte des résistances propres de l'appareil sans plan d'épreuve — la pesanteur et l'action du vent auront des composantes suivant le chemin de roulement égales et opposées, de valeur commune P *sin i*. Toutes choses égales d'ailleurs, la vitesse limite que l'on peut obtenir augmente avec le poids de l'appareil, et il y a un minimum de ce poids permettant, dans des conditions d'expérience déterminées, d'atteindre dans cette expérience une vitesse numériquement fixée : On sera d'ailleurs facilement maître du poids de l'appareil à l'aide de rondelles pleines centrées sur l'axe EE, que l'on pourra placer dans les cylindres équilibreurs.



LONGUEUR DU CHEMIN DE ROULEMENT
POIDS DE L'APPAREIL ROULANT

Supposons que le chemin de roulement soit incliné de 30° sur l'horizontale, et que l'on veuille atteindre dans toutes les séries d'expérience la vitesse de 50 mètres ; cherchons à nous rendre compte de la longueur que devra avoir le chemin de roulement, et par suite des distances verticale et horizontale dont on devra pouvoir disposer.

Chaque expérience sera d'autant plus précise que l'appareil parcourra un plus grand espace et mettra plus de temps pour atteindre la vitesse de 50 mètres. A ce sujet, il faut remarquer que les principes élémentaires de mécanique établissent que, toutes autres conditions égales d'ailleurs, c'est l'appareil le plus lourd qui atteindra une vitesse donnée le plus tôt et le plus près possible du point de départ.

Considérons en effet deux appareils identiques, sauf que l'un porte quelques rondelles de plus que l'autre dans ses cylindres équilibreurs : considérons-les au moment où ils ont même vitesse, *v*, la composante sui-

vant le chemin de roulement de l'action du vent étant pour tous deux une quantité a ; soient p et p' leurs poids, on a :

$$\frac{p}{g}\left(\frac{dv}{dt}\right) = p \sin i - a \qquad \text{pour l'un}$$

$$\text{et } \frac{p'}{g}\left(\frac{dv}{dt}\right)' = p' \sin i - a \qquad \text{pour l'autre.}$$

l'augmentation de vitesse après que chacun d'eux aura parcouru le même espace vdt, sera :

$$dt\, g\left(\sin i - \frac{a}{p}\right) \qquad \text{pour l'un}$$

$$dt\, g\left(\sin i - \frac{a}{p'}\right) \qquad \text{pour l'autre}$$

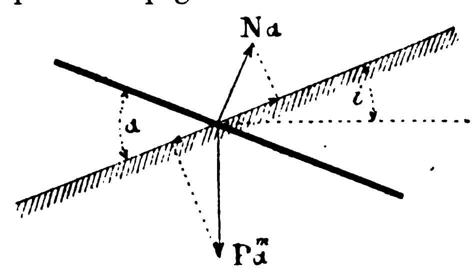
donc plus grande pour le plus lourd, le plus léger n'atteignant cette même augmentation de vitesse que plus tard après avoir parcouru un espace plus grand.

Il résulte de là que si on veut mettre dans les expériences le plus de précision possible, il faudra chaque fois employer l'appareil le plus léger qui permettra cependant d'atteindre la vitesse de 50 mètres, ce poids Pm étant, chaque fois, tel que multiplié par $\sin i$, il soit égal à la composante suivant le chemin de roulement de l'action du vent sur le plan, tel qu'il est disposé pour l'expérience et à la vitesse de 50 mètres.

Dans une série d'expériences, où le plan sera complètement déterminé comme matière constituante, surface et configuration, et où de plus l'azimut du vent restera constant, l'axe EE étant déplacé seulement parallèlement à lui-même d'une expérience à l'autre, ce poids minimum Pm ne sera plus fonction que de l'angle α (qui, comme on l'a vu, caractérise chaque expérience, variant vraisemblablement très peu pendant toute sa durée).

$$\text{Si } \alpha = 90^\circ,\ P^{m}_{90^\circ} \sin i = 0^k{,}06\ S^{mq}\ 2500 = N^{50m}_{90^\circ}$$

en appelant S la surface frappée, et en employant la formule citée dans les premières pages.



Pour une valeur de α différente de 90°, $N\alpha$ étant l'action du vent de 50 mètres pour cette valeur α, on a

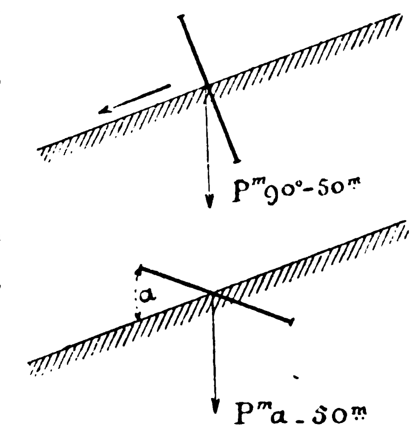
$$P^{m}_{\alpha} \sin i = N^{50m}_{\alpha} \sin \alpha$$

N_{α} et $\sin \alpha$ diminuant avec α, P^{m}_{α} diminue pour ces deux raisons en

même temps avec α. Le plus grand des poids minimum correspond donc au vent normal.

Quant à la longueur du chemin de roulement, on se rend compte qu'elle sera la même dans toutes les expériences de la série susdite, en employant chaque fois l'appareil le plus léger permettant 50 mètres. Il suffit pour cela d'admettre que *toutes choses parfaitement égales d'ailleurs*, la vitesse du vent relatif ne change pas le point d'impact — ce que nous avons déjà admis — et aussi que l'action du vent est simplement multipliée par le carré de cette vitesse comme cela a été reconnu vrai expérimentalement dans le cas du vent normal.

S'il en est ainsi, considérons deux expériences, dans l'une desquelles le plan est normal à la trajectoire et non dans l'autre, et considérons les systèmes mobiles, aux moments où ils ont même vitesse v, dans les deux expériences.



Le poids de l'un est $P^{m}_{90^0}$ et de l'autre P^{m}_{α}; ces poids, et par conséquent les masses, sont dans le rapport

$$\frac{N^{50m}_{90^o}}{N^{50m}_{\alpha} \sin \alpha}$$

Les composantes selon la trajectoire des actions du vent sont entre elles, au moment considéré, dans le rapport

$$\frac{N^{50m}_{90^o}\left(\frac{v}{50}\right)^2}{N^{50m}_{\alpha} \sin \alpha\left(\frac{v}{50}\right)^2}$$

soit dans le même rapport que les poids et les masses; même conclusion pour les forces totales agissantes : l'augmentation de vitesse est donc la même dans les deux cas, et les deux mouvements sont identiques.

Il résulte de cela que la longueur de trajectoire LT, à parcourir avant d'atteindre une certaine vitesse, et le temps nécessaire à ce parcours, sont pour toutes les expériences de la série, les mêmes que dans le cas où la surface qui se meut est normale à sa trajectoire; or, dans ce cas, ces quantités peuvent se calculer.

L'équation du mouvement est en effet alors :

$$\frac{P^m_{90^\circ}}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = P^m_{90^\circ} \sin i - 0^k,06\, S\, v^2$$

avec la condition, pour atteindre ici 50^m, et en général la vitesse maximum V à réaliser dans les expériences :

$$P^m_{90^\circ} \sin i = 0^k,06\, S.\, V^2$$

d'où finalement, l'équation différentielle :

$$\frac{dv}{dt} = \left(1 - \frac{v^2}{V^2}\right) g \sin i$$

Deux intégrations successives donnent pour la vitesse *v* et l'espace *l* parcouru les deux formules suivantes, fonctions du temps :

$$\left.\begin{aligned} v &= V\, \frac{e^{2at} - 1}{e^{2at} + 1} \\ l &= \frac{V}{a} \log \frac{e^{2at} + 1}{2\, e^{at}} \end{aligned}\right\} \text{ en posant } a = \frac{g \sin i}{V}$$

Il est d'ailleurs plus commode pour les calculs que l'on a en vue, d'exprimer *t* et *l* en fonction de *v* ; on a alors :

$$\begin{aligned} t &= \frac{1}{2a} \left[\log\left(1 + \frac{v}{V}\right) - \log\left(1 - \frac{v}{V}\right)\right] \\ l &= -\frac{V}{2a} \left[\log\left(1 + \frac{v}{V}\right) + \log\left(1 - \frac{v}{V}\right)\right] \end{aligned} \qquad a = \frac{g \sin i}{V}$$

Ces formules donnent *t* et *l* infinis pour $v = V$; ainsi pour atteindre une certaine vitesse avec l'appareil de poids minimum permettant de la réaliser, il faut un temps infini et une longueur de trajectoire infinie ; d'où la nécessité de se servir d'appareils plus lourds, c'est-à-dire correspondant à des vitesses limites plus grandes.

Le tableau suivant indique les temps et espaces nécessaires pour atteindre 50 mètres sur un chemin de roulement incliné de 30° à l'aide d'appareils portant des plans normaux à la route et ayant les poids minimum permettant de réaliser 60, 70, 80 mètres, etc. Le poids de ces appareils est,

on l'a vu, égal à $\frac{0^k,06 \times S^{mq} \times V^2}{\sin i}$ il est par conséquent ici :

$\frac{0^k,06 \times V^2}{0,5} = 0^k12\ V^2$ par mètre carré de la surface plane expérimentée.

INCLINAISON DE LA TRAJECTOIRE SUR L'HORIZONTALE 30° Vitesse maximum à réaliser dans les expériences : 50^m.					
Vitesse limite V des appareils...........	60^m	70^m	80^m	90^m	100^m
Poids de ces appareils par mètre carré de la surface plane expérimentée.........	432^k	588^k	768^k	972^k	1200^k
Temps nécessaire pour atteindre 50^m.....	$14^s,4$	$12^s,6$	$11^s,8$	$11^s,3$	$10^s,9$
Espace d° d°	430^m	350^m	316^m	298^m	290^m

Les chiffres de temps et d'espace d'une colonne verticale de ce tableau conviennent pour toutes les circonstances de surface, de configuration, d'azimut, d'inclinaison α que peuvent présenter les expériences faites sur le chemin de roulement incliné de 30°, pourvu que chaque fois, l'appareil ait le poids minimum (fonction, lui, de ces quantités diverses), lui permettant d'atteindre, sur chemin infini, la vitesse limite inscrite en tête de la colonne. On conclut en effet pour le cas général, en ce qui concerne ces temps et espaces, du cas où le plan expérimenté est normal au chemin et au vent ($\alpha = 90°$), cas qui devient unique puisque l'azimut s'y évanouit, et que, ainsi qu'il a été dit, la configuration n'influe pas sur l'action du vent normal, et par suite sur le mouvement dans ce cas.

Quant au poids à donner dans chaque cas à l'appareil, il faudra tatonner tout au moins dans les premières expériences, pour le déterminer ; il est en effet fonction d'éléments que l'on détermine par les expériences elles-mêmes, mais on sera vite guidé par le principe de continuité.

Le tableau donne ces poids par unité de surface dans le cas du plan normal au chemin, ils sont considérables ; mais il convient de remarquer qu'il ne sera pas utile d'atteindre $\alpha = 90°$ dans les expériences, et qu'on s'en tiendra vraisemblablement aux petites valeurs de α, nécessitant des poids bien plus faibles ; si on devait atteindre $\alpha = 30°$, on trouve que, dans le cas d'un plan carré, et pour un azimut parallèle au côté du carré, cas

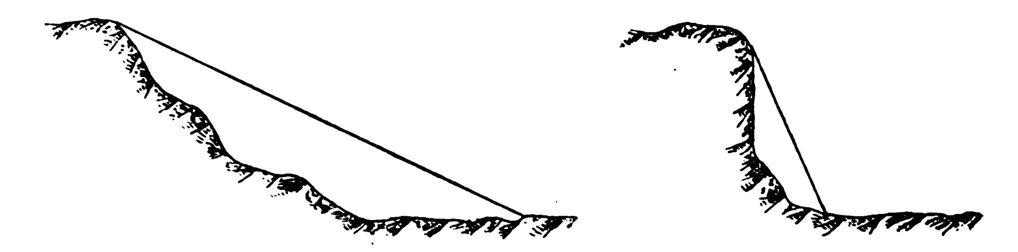
dans lequel on connaît le rapport $\frac{N\alpha}{N_{90^0}}$, les poids nécessaires pour $i = 30^o$ seraient à ceux du tableau dans le rapport

$$\frac{N_{30^\circ} \sin 30^o}{N_{90^\circ}} = \frac{2 \sin^2 30^o}{1 + \sin^2 30^o} = \frac{2}{5}$$

Si on fait varier i, les formules montrent que les poids, temps et espaces de ce tableau sont multipliés par $\frac{\sin i}{\sin i'}$; ainsi pour $i = 45^o$ environ, ils seront réduits aux $\frac{5}{7}$ de leurs valeurs inscrites au tableau : pour $i = 90^o$, ils n'en seraient que la moitié.

Au point de vue du temps que dure l'expérience, les faibles inclinaisons du chemin de roulement sur l'horizontal sont avantageuses, puisqu'elles augmentent ce temps.

La distance verticale entre le point de départ et le point d'arrivée de l'équipage mobile est constante quel que soit l'angle i, puisque $l \sin i$ est une valeur constante, (voir les formules) ; la distance horizontale entre ces deux points diminue à mesure que i augmente : la longueur du chemin aussi, ce qui est avantageux ; mais, d'autre part, tandis qu'il sera fréquent



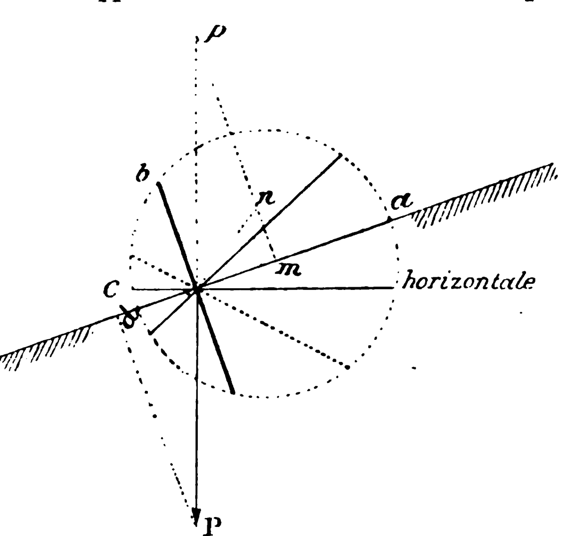
et facile de trouver, dans les pays de montagnes, les conditions de terrain permettant des trajectoires peu inclinées, il sera moins facile de rencontrer celles qui permettront des trajectoires se rapprochant de plus en plus de la verticale.

Enfin, les appareils à employer doivent être d'autant plus lourds que l'inclinaison i est plus faible.

De tout ce que nous avons dit, on peut conclure *grosso modo*, que, sur un chemin de roulement incliné par exemple, de 45° sur l'horizontale, on pourra faire toutes les expériences dans lesquelles α ne dépassera pas 30° et dans chacune desquelles on atteindra la vitesse de 50 mètres, à

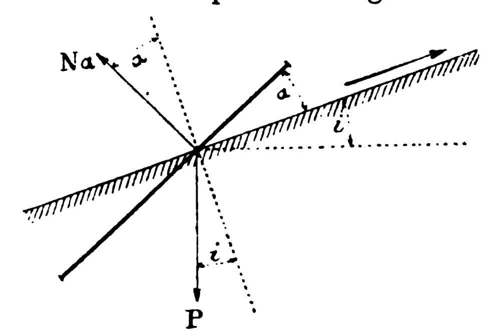
condition de disposer d'un chemin de roulement de 250 mètres environ de longueur (soit 175 mètres de hauteur verticale et 175 mètres de distance horizontale entre les points de départ et d'arrivée). Le poids de l'appareil mobile, réglé chaque fois de façon à lui donner 70 mètres comme vitesse limite possible sur un chemin infini, n'arrivera pas vraisemblablement à excéder un maximum de 170 à 180 kilos par mètre carré du plan essayé, chiffres qui paraissent devoir permettre d'assez grandes surfaces d'essai.

Au sujet du poids de l'appareil, réglé chaque fois au minimum nécessaire, il convient de remarquer que : quand l'angle α doit avoir, dans l'expérience, une valeur intermédiaire entre 0° et l'angle i d'inclinaison du chemin de roulement, il faut faire supplémentairement attention à ce que le poids soit suffisant pour que l'appareil ne soit pas soulevé ; on voit dans la figure ci-contre, que dans les expériences où une extrémité déterminée du plan est entre a et b (valeurs de α entre 180° et 90°), l'action du vent contribue avec la pesanteur à asseoir l'appareil sur les câbles ; que, quand cette extrémité est entre b et c (valeurs de α entre 90° et l'angle i), la composante normale au chemin de roulement de l'action du vent à la vitesse limite (pour laquelle la composante de cette action suivant ce chemin égale celle de la pesanteur suivant la même direction), est inférieure à la composante normale au même chemin du poids de l'appareil ; soit $mn < mp$: enfin, que quand cette extrémité est entre c et d (valeurs de α comprises entre i et 0°), cette composante normale devient égale à celle du poids avant la vitesse limite ; bien que dans les expériences, on n'atteigne pas cette dernière, il conviendra cependant d'examiner si à 50 mètres, le soulèvement n'a pas lieu, et de régler le poids en conséquence.



AUTRE SYSTÈME D'EXPÉRIENCES

Si on arrivait à être limité pratiquement dans la voie de donner aux plans expérimentés des surfaces de plus en plus grandes, par l'importance des poids à donner aux appareils ; s'il arrivait que les expériences, possibles par la méthode envisagée jusqu'à présent avec des plans de plusieurs mètres carrés, ne permissent pas de conclure sûrement aux résultats que donneraient les aéroplanes eux-mêmes, de quelques dizaines de mètres carrés de surface bien probablement, et qu'il fallut expérimenter ces aéroplanes avec toutes leurs dimensions d'exécution, il faudrait agir autrement : on pourrait songer à remplacer la méthode descendante par la méthode ascendante, c'est-à-dire, en conservant le principe de l'appareil, faire remonter à celui-ci son plan incliné au lieu de le lui faire descendre. On lancera l'appareil à 50 mètres de vitesse initiale; le vent et la pesanteur s'accorderont pour retarder le mouvement, et quant au poids, il suffira seulement qu'il soit assez grand pour que l'appareil ne soit pas soulevé par le vent au départ.



On aura aussi la condition $P \cos i \gtreqqless N_\alpha \cos \alpha$ maximum.

Dans le cas d'un aéroplane carré, avec emmanchement parallèle au côté, on a :

$$N_\alpha \cos \alpha = N_{90^\circ} \frac{2 \sin \alpha \cos \alpha}{1 + \sin^2 \alpha}$$

Le maximum de $N_\alpha \cos \alpha$ que l'on pourra avoir dans les expériences, pour une surface donnée S de plan frappé, correspondra au maximum de N_{90°, soit au début de l'expérience où la vitesse est maximum : 50 mètres, et aussi à l'angle qui rend maximum l'expression $\frac{2 \sin \alpha \cos \alpha}{1 + \sin^2 \alpha}$ et qui a pour tangente $\frac{1}{\sqrt{2}}$ soit 35° 20' environ.

Si $i = 30^\circ$, on trouve que $\frac{P}{S}$ doit être égal ou supérieur à 122 k. On pourrait même descendre au-dessous de ce poids, en ayant un contreguidage de l'équipage mobile.

Quoiqu'il en soit, on aurait pour ces expériences ascendantes, besoin



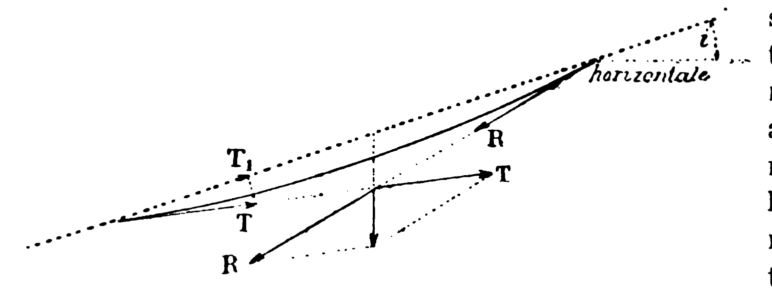
de moins d'espace et de moindres poids d'appareils que dans les expériences descendantes ; mais elles dureraient aussi moins de secondes et présenteraient la complication d'un dispositif spécial donnant à l'équipage mobile la vitesse initiale de 50 mètres. Les deux ailes, identiques, constituant l'aéroplane, seraient situées en dehors du chemin de roulement, une de chaque côté, et placées dans le même plan.

La nécessité des expériences ascendantes ne s'impose pas : il se peut seulement qu'elle soit la conséquence de l'insuffisance des résultats donnés par les expériences descendantes, si cette insuffisance est constatée. Celles-ci seront donc toujours à faire en premier lieu, pour débrouiller la question, et donner les premiers, sinon tous les résultats dont on a besoin.

EXPÉRIENCES DIRECTES SUR LES PROPULSEURS

Le même appareil ci-dessus décrit dans ses grandes lignes, et destiné à expérimenter la résistance qu'offre l'air aux surfaces en mouvement relatif, pourra servir, aux mêmes stations, pour faire des expériences directes sur les propulseurs de l'aviateur, il suffira de le modifier comme suit : Tout ce qui est relatif au plan essayé et à la mesure de son angle avec le chemin sera supprimé ; le tambour T, en tournant, entraînera, non plus le tableau *ta*, mais bien l'hélice à essayer elle-même, dont l'axe sera disposé parallèle au chemin de roulement ; sa vitesse angulaire $\frac{d\theta}{dt}$ sera proportionnelle à la vitesse *v* de l'appareil roulant, si la chaînette formée par le cordage déroulé reste convenablement tendue, ce qui nécessitera qu'à toute vitesse *v* de l'appareil, le moment résistant transversal du propulseur ait une valeur suffisante pour produire cette tension. Entre l'extrémité du cordage qui se déroule et le point fixe du tambour T, on interposera un ressort, dont la tension R sera relevée, en position et en grandeur, en fonction du temps.

Soient, à un moment donné, PP la poussée du propulseur, qui peut, selon la disposition de ce dernier, retarder ou aider le mouvement d'ensemble ; Mrt son moment résistant transversal, soit



le moment par rapport à son axe des actions qu'il reçoit de l'air, T la

tension du cordage au point où il se déroule, et T_1 la projection de T sur le chemin de roulement, R la tension du ressort.

On a, pour le mouvement du système mobile de masse *m*, dont le mouvement est relevé en fonction du temps :

$$m \frac{dv}{dt} = \pm \text{ PP } - T_1 + mg \text{ sini}$$

et pour le mouvement du tambour de rayon *r*, et des pièces de transmission de mouvement au propulseur

$$\Sigma I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = \Sigma I. K. \frac{dv}{dt} = T \times r - Mrt$$

A tout instant, T et R se composent selon le poids de la portion déroulée du cordage ; on voit donc que les deux équations permettent de connaître les deux éléments non relevés ou construits, c'est-à-dire PP, et Mrt, intéressant le propulseur.

On se réservera naturellement le moyen de faire varier *ad libitum* le poids de l'appareil mobile, à mesure que l'on variera les dimensions du propulseur essayé et l'allure à laquelle on veut qu'il parvienne dans l'expérience.

DEUXIÈME PARTIE

ETUDE DU MOUVEMENT D'UN AVIATEUR-AÉROPLANE EN AIR PARFAITEMENT CALME

NOTATIONS ET ABRÉVIATIONS

g Centre de gravité de l'aviateur, non compris l'aéroplane.

G Centre de gravité de l'aviateur, y compris l'aéroplane.

pam Poids de l'appareil moteur, absolument complet.

pa — l'aéroplane.

pf — du fuseau avec appendices (queue et gouvernail), et contenu (personnes, chargement).

pt — total de l'aviateur = pam + pa + pf.

vf Action du vent relatif sur le fuseau.

vq — la queue.

vg — le gouvernail.

va — l'aéroplane.

vp — le propulseur.

$\overrightarrow{v\,r}$ Ligne représentative en grandeur, direction et sens du vent relatif.

$\overrightarrow{v\,a}$ — — absolu.

da Une quelconque des dispositions différentes dont est susceptible l'aéroplane.

dp — — le propulseur.

dq — — la queue.

dg — — le gouvernail.

α Angle du vent relatif avec l'aéroplane.

β — — le plan horizontal.

γ — du plan de la queue avec le plan horizontal.

λ — de l'axe du fuseau avec le plan horizontal, (ou d'inclinaison longitudinale).

τ — de rotation du fuseau autour de son axe (ou d'inclinaison transversale).

V Vitesse absolue de l'aviateur.

AI Appareil indicateur du vent relatif.

Courbe AI Courbe à l'intérieure de laquelle se meut la pointe du stylet de l'appareil AI.

VM Appareil réalisant une verticale matérielle quelque soit l'état de mouvement de l'aviateur.

DEUXIÈME PARTIE

Étude du mouvement d'un aviateur-aéroplane en air parfaitement calme.

Dans cette partie, est étudié le mouvement de l'aviateur dans un air qui est supposé absolument calme, et de plus, identique à lui-même en tous les points du trajet de l'aviateur, comme densité, température, pression, humidité, ou du moins, malgré des variations qui se produiraient dans ces qualités, mais en se compensant convenablement, identique à lui-même comme action mécanique exercée sur une surface donnée, toutes les autres conditions étant bien identiques : c'est ce que nous traduirons en disant qu'il a partout le même état dynamique.

L'aviateur-aéroplane que nous considérons se compose d'un corps ou fuseau et d'un aéroplane. Le fuseau, en forme générale de poisson, a deux plans de symétrie perpendiculaires l'un à l'autre, se coupant suivant une ligne que nous appellerons son axe ; il porte les appendices, queue et gouvernail, dont la nécessité sera reconnue au cours de cette étude ; il porte un propulseur ou un système de propulseurs donnant poussée, au point fixe et en air calme, suivant l'axe du fuseau ; il contient le chargement en personnes transportées et en matériel transporté ; il contient aussi le moteur de ou des propulseurs. Nous désignerons par g le centre de gravité individuel de l'ensemble jusqu'à présent décrit ; ce point g est situé dans un des deux plans de symétrie du fuseau, que nous appellerons le plan ag (contenant l'axe et le point g). Le poids appliqué en g se compose : 1° du poids pf, comprenant le chargement en personnes et matériel, ainsi que la chambre qui le contient ou fuseau proprement dit, avec appendices ; c'est là le poids utile à transporter ; 2° du poids pam, de l'appareil moteur absolument complet,

(moteur proprement dit, propulseurs, approvisionnement convenable de la matière consommable fournissant l'énergie).

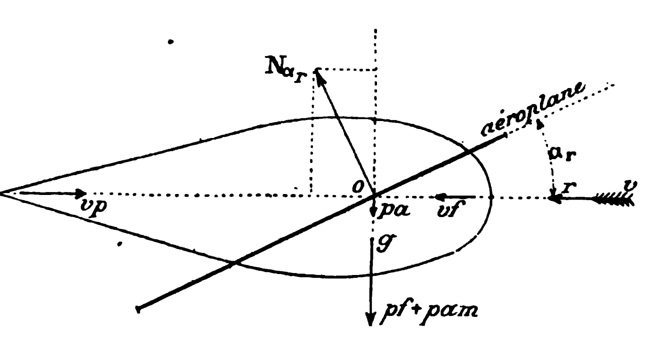
L'aéroplane se compose de deux ailes absolument identiques, planes, placées de part et d'autre du plan *ag* du fuseau, et exactement symétriques par rapport à ce plan : elles sont emmanchées sur un axe, dit axe d'emmanchement, perpendiculaire au plan *ag*, et que nous supposerons pour le moment rigidement lié au fuseau.

Nous désignerons par *pa* le poids individuel de l'aéroplane, poids dont la composition avec le poids appliqué en *g* donnera le poids total *pt* de l'aviateur aéroplane appliqué au centre de gravité général désigné par G.

I.

Allure de régime horizontale en air calme.

Plaçons l'axe du fuseau horizontalement, le point g étant au-dessous de lui dans le plan vertical qui contient cet axe : soit o le point de rencontre de celui-ci avec la verticale de g ; nous ferons passer par ce point o l'axe d'emmanchement E E sur lequel sont montées, *folles*, les ailes, et qui est d'ailleurs perpendiculaire au plan ag, ici vertical. Imaginons que l'aviateur soit animé, en air calme, d'un mouvement de translation horizontale suivant son axe même, de vitesse de régime V_r. Les forces extérieures qui agissent sur le système proviennent de la pesanteur d'une part, et de l'action sur lui du vent relatif, dont la vitesse ici est égale et directement opposéeà V_r, d'autre part.



Le poids de tout le système, moins l'aéroplane, est appliqué en g, et passe en direction par le point o. Nous supposerons que le centre de gravité de chaque aile est situé sur l'axe d'emmanchement, d'où il résultera que le poids pa de l'aéroplane est appliqué au point o lui-même.

L'action vf du vent sur les formes du fuseau, par raison de double symétrie de celles-ci, se confond en position avec l'axe de ce fuseau.

Les actions vg et vq sur les appendices (gouvernail et queue) sont nulles, si le gouvernail est dans le plan ag, ici vertical, et la queue dans le plan de symétrie perpendiculaire au plan ag.

L'action vp ou poussée du ou des propulseurs est également dirigée suivant l'axe du fuseau.

En ce qui concerne l'action *va* du vent relatif sur l'aéroplane, on a vu dans la première partie que cet aéroplane, monté fou sur l'axe d'emmanchement qui contient son centre de gravité et frappé, comme cela a lieu ici, par un vent d'azimut perpendiculaire à cet axe, s'orientera automatiquement et stablement de façon à faire avec le vent relatif un angle tel que le point d'impact soit également sur ce même axe d'emmanchement; ici, pour raison de symétrie des deux ailes par rapport au plan *ag*, c'est par le point *o* lui-même de cet axe que passera l'action *va* qui, normale à l'aéroplane, sera de plus contenue dans le plan *ag;* nous appellerons α_r l'angle de l'aéroplane avec le vent relatif, ici avec l'axe du fuseau, et N_{α_r} l'action *va*.

Dès lors, toutes les forces extérieures agissant sur l'aviateur sont contenues dans le plan *ag*, qui est ici vertical, et passent par un même point *o :* il faut, pour que le mouvement de régime supposé puisse avoir lieu, que toutes ces forces se fassent équilibre en *o*, et que, de plus, cet équilibre soit stable.

Nous étudierons plus loin la stabilité de l'équilibre, et n'allons considérer pour le moment que les conditions d'équilibre. Elles donnent lieu aux deux équations :

$$N_{\alpha_r} \cos \alpha_r = pt$$
$$N_{\alpha_r} \sin \alpha_r = vp - vf$$

POIDS UTILE TRANSPORTÉ. ANGLE α_r FAVORABLE.

Supposons ces égalités réalisées, et cherchons l'expression du poids utile transporté : *pf.*

Fixons comme données la vitesse de régime V_r, l'état dynamique de l'air rencontré, la matière dont est fait l'aéroplane, les formes du fuseau, et par conséquent *vf* — le poids b_r de l'aéroplane par mètre carré de la surface S_r qu'il a en allure de régime — le poids φ_r de l'appareil moteur par cheval utile de 75 km. par seconde, tout compris, de la puissance qu'il développe à cette allure de régime.

On a :

$$pf = pt - pa - pam$$
$$pam = \frac{vp.\ V_r}{75}\ \varphi_r$$
$$pa = b_r\ S_r$$



Tirant *pt* et *vp* des deux équations d'équilibre, il vient :

$$pf + \frac{\varphi_r V_r}{75} vf = N\alpha_r \left\{ \cos \alpha_r - \frac{\varphi_r V_r}{75} \sin \alpha_r \right\} - b_r S_r$$

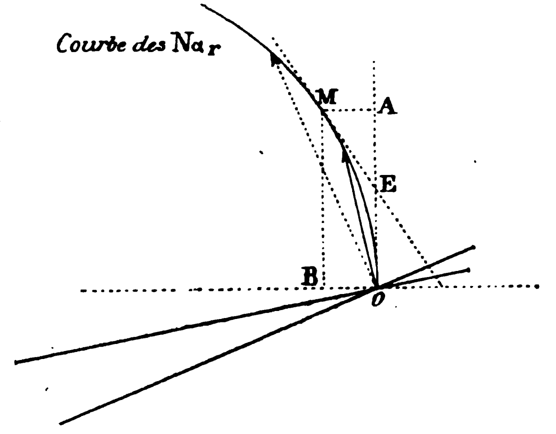
Le second terme du premier membre de cette équation est une constante de par les données plus haut ; *pf* est donc maximum avec le second membre de l'équation.

D'une façon générale, $N\alpha_r$ est fonction de la surface, de la configuration de l'aéroplane, de la direction de l'axe d'emmanchement tracée sur lui, et de l'angle α. On voit tout de suite, au simple examen de l'équation, que toutes choses égales d'ailleurs, il y a une valeur de l'angle α_r qui rend maximum le second membre : ainsi, si l'on prend plusieurs aéroplanes ayant même configuration, même surface S_r, même poids $b_r S_r$, des axes d'emmanchement différents, mais parallèles, soit de même direction tracée sur eux, et s'ils sont construits chacun de façon que son centre de gravité soit sur cet axe, il y aura un de ces aéroplanes auquel correspondront une position déterminée de son axe d'emmanchement, et une valeur déterminée de α_r, pour lequel le poids utile transporté sera maximum.

Considérons la courbe joignant les extrémités des forces $N\alpha_r$ en position, données par les différents aréoplanes dont nous venons de parler, le maximum cherché de

$$N\alpha_r \left\{ \cos \alpha_r - \frac{\varphi_r V_r}{75} \sin\alpha_r \right\}$$

soit de $oA - oB \frac{\varphi_r V_r}{75}$



s'obtiendra géométriquement en menant à la courbe une tangente faisant avec l'horizontale un angle ayant pour tangente $\frac{\varphi_r V_r}{75}$ (à la condition qu'oB augmentant, l'angle de la tangente au point correspondant de la courbe avec l'horizontale diminue). Si M est le point de contact ainsi obtenu, l'angle MoA est la valeur de α_r la plus avantageuse pour la grandeur du poids *pf*, pour les données fixées plus haut, et dans les conditions ci-dessus indiquées pour les aéroplanes.

Le maximum construit géométriquement, de $oA - oB\frac{V_r \varphi_r}{75}$ est oE ; il sera d'autant plus grand que les conditions de configuration, de direction d'axe d'emmanchement, et de surface d'aréoplane relèveront davantage la courbe $N\alpha_r$.

Si on admet, en général, que N_{α_r} est égal à $n_{\alpha_r}\ S_r\ \overline{V}_r^2$, n_{α_r} se rapportant à des aéroplanes de configuration semblable où l'axe d'emmanchement est semblablement placé, mais dont la surface est l'unité, et qui sont frappés par un vent de vitesse égale à l'unité, la formule de *pf* devient :

$$(1)\quad pf + \frac{\varphi_r\ V_r}{75}\ vf = S_r \left[n_{\alpha_r}\ \overline{V}_r^2 \left(\cos \alpha_r - \frac{\varphi_r\ V_r}{75} \sin \alpha_r \right) - b_r \right]$$

la courbe des n_{α_r} n'étant plus fonction que de la configuration, et de la direction de l'axe d'emmanchement.

Si, par les expériences indiquées dans la 1re partie, on pouvait connaître la configuration et la position d'axe d'emmanchement donnant la courbe n_{α_r} la plus relevée et la plus favorable, en appliquant à cette courbe la construction géométrique dite plus haut, on aurait l'angle α_r le plus favorable, et on déduirait de cette équation soit la surface tout-à-fait minimum d'aéroplane qu'il faudrait pour avoir un poids utile *pf* à transporter donné, soit le maximum maximorum du poids *pf* que permettrait une surface donnée d'aéroplane.

CALCULS POUR UN AÉROPLANE CARRÉ AVEC AXE D'EMMANCHEMENT PARALLÈLE A SON COTÉ

En l'absence de la connaissance de la courbe n_{α_r} la plus favorable, on peut du moins effectuer des calculs en considérant une configuration *carrée*, et une direction d'axe d'emmanchement parallèle au côté du carré, puisque dans ce cas, on a vu que

$$n_\alpha = 0^k,06\ \frac{2 \sin \alpha}{1 + \sin^2 \alpha} = 0^k,12\ \frac{\sin \alpha}{1 + \sin^2 \alpha}$$

On saura que les résultats auxquels on arrivera pourront être améliorés par un changement convenable de configuration et de direction d'axe d'emmanchement.

La courbe polaire n_α dont on vient de donner l'équation, est une ellipse ayant pour longueur d'axe $0^k,06$ et $0^k06\sqrt{2}$; ces axes sont horizontal et vertical, le point o est un sommet du petit axe.

En ce qui concerne la détermination de l'angle α_r le plus favorable, par la construction géométrique exposée plus haut, appliquée à cette courbe particulière des n_α, on trouve par le calcul que l'angle δ avec la verticale de la tangente en un point quelconque de la courbe est lié à l'angle α, que fait le rayon polaire de ce point avec la verticale également, par la relation.

$$\operatorname{tg}\delta = 2\operatorname{tg}\alpha\,\frac{1-\sin^2\alpha}{1-3\sin^2\alpha}$$

Cette formule montre que quand α est petit, l'angle δ et sa tangente sont sensiblement le double de l'angle α et de sa tangente, ce qui revient à confondre la portion de courbe avec un cercle. Voici les chiffres correspondants :

$\alpha = 4^\circ$	$\delta = 8^\circ$
$\alpha = 8^\circ$	$\delta = 16^\circ\ 20'$
$\alpha = 12^\circ$	$\delta = 25^\circ$

Donc, en escomptant que l'on trouvera ainsi pour α_r une valeur suffisamment petite, on calculera cet angle par la relation.

$$\operatorname{tg}\alpha_r = \frac{1}{2}\operatorname{tg}\delta_r = \frac{1}{2}\,\frac{75}{V_r\,\varphi_r}$$

D'autre part, pour tenir compte du terme en vf du premier membre de l'équation (1), nous supposerons au fuseau une section maîtresse de 4 mètres carrés, et des formes telles que sa résistance au vent relatif dirigé selon son axe ne soit que le $\frac{1}{20}$ de la résistance de cette même surface, 4^{mq}, supposée plane.

$$vf = \frac{1}{20}\,0^k,06 \times 4 \times \overline{V}_r^2 = 0^k,012\,\overline{V}_r^2$$

En tenant compte de tout ce qui précède, on trouve que l'équation (1) fondamentale peut s'écrire :

$$pf = S_r \left(\frac{1}{2} n_{\alpha_r} \cos \alpha_r \, V_r^2 - b_r \right) - 0^k,012 \frac{V_r^3 \varphi_r}{75}$$

sous la seule réserve que α_r est assez petit pour justifier l'emploi de la formule $\operatorname{tg} \alpha_r = \frac{75}{2 V_r \varphi_r}$, ce qui a lieu, comme on l'a vu, pour des valeurs encore assez considérables de α_r (mettons jusqu'à 8°).

Si on suppose que cet angle soit même assez petit pour que l'on puisse sans erreur sensible, négliger le carré de son sinus devant l'unité, considérer son sinus et sa tangente comme égaux, et son cosinus comme égal à l'unité,

$$n_{\alpha_r} \text{ qui est égal à } 0^k,06 \frac{2 \sin \alpha_r}{1 + \sin^2 \alpha_r} \text{ devient } \frac{4,5}{V_r \varphi_r}$$

et conséquemment, il vient aussi :

$$pf = S_r \left(2,25 \frac{V_r}{\varphi_r} - b_r \right) - 0^k,012 \, V_r^3 \frac{\varphi_r}{75}$$

relation qui n'a plus lieu qu'entre pf, S_r, φ_r, b_r, V_r.

Si on la considère, après l'avoir mise sous la forme :

$$V_r \left(S_r \times 168,75 - 0^k,012 \, V_r^2 \varphi_r^2 \right) = 75 \, \varphi_r \left(pf + S_r \, b_r \right)$$

on remarque que, quand on se donne φ_r, le premier terme passe par un maximum que l'on trouve facilement devoir correspondre à une valeur de V_r donnée par la relation :

$$V_r^2 = \frac{S_r \times 168,75}{0,036 \, \varphi_r^2}$$

Le second terme ne peut dépasser cette valeur maximum, par conséquent, si on se donne *pf*, S_r et φ_r, b_r est susceptible d'un maximum correspondant à cette valeur de V_r et égale à :

$$b_r \text{ maximum} = \frac{102,6 \sqrt{S_r}}{\varphi_r^2} - \frac{pf}{S_r}$$

valeur qui augmente avec S_r, de sorte que cette relation donne aussi le minimum de S_r pour un b_r donné, φ et *pf* étant donnés.

Quant à φ_r correspondant à ce maximum de b_r, on a :

$$\operatorname{tg} \varphi_r = \frac{75}{2 \, V_r \, \varphi_r} = \frac{0{,}548}{\sqrt{S_r}}$$ qui assure à l'angle α_r, dès que S_r atteint

20 à 25 mètres carrés, la petitesse supposée dans tous ces calculs et suffisante pour les légitimer.

En résumé, si on se donne les poids unitaires d'aéroplane et d'appareil moteur complet, définis plus haut et désignés par b_r et φ_r, — pour pouvoir sustenter, en plus des poids totaux de cet aérophane et de cet appareil moteur, un poids donné, utile à transporter, pf — il faut une surface minimum S_r d'aéroplane carré, en allure de régime, avec axe d'emmanchement parallèle au côté, donnée par la relation :

$$br = \frac{102{,}6 \sqrt{S_r}}{\overline{\varphi_r}^2} - \frac{pf}{S_r}$$

La vitesse de régime V_r correspondante et l'angle α_r de régime correspondant sont donnés par les formules :

$$\overline{V_r}^2 = \frac{S_r \times 168{,}75}{0{,}036 \, \overline{\varphi_r}^2} \qquad \operatorname{tg} \alpha_r = \frac{0{,}548}{\sqrt{S_r}}$$

Dans le tableau qui suit, on s'est donné $pf = 500$ kilogrammes :
des valeurs de φ_r comprises entre 14^k et 6^k
et des valeurs de b_r comprises entre 12^k et 2^k

AÉROPLANE CARRÉ

Direction de l'axe d'emmanchement : parallèle au côté.

Tableau donnant pour diverses valeurs des poids unitaires φ_r et b_r.

1° le minimum de la surface S_r en mètres carrés d'aréoplane nécessaire pour sustenter 500 k^{os} en plus des poids de l'aéroplane et de l'appareil moteur complet ; 2° la vitesse de régime V_r en mètres, correspondante ; 3° l'angle favorable α_r correspondant.

Valeur de b_r ↓		Valeur de φ_r 14^k	12^k	10^k	8^k	6^k
12^k	S_r				108 mq	54,2
	V_r				89,0	84,0
	α_r				3°	4°16'
10^k	S_r				92,4	47,5
	V_r				82,0	78,6
	α_r				3°,16'	4°33'
8^k	S_r			132,5	80	42,6
	V_r			79,0	76,6	74,4
	α_r			2°44'	3°30'	4°49'
6^k	S_r			107	70	39.3
	V_r			71,0	71,5	71,5
	α_r			3°02'	3°46'	5°

Valeur de b_r ↓		Valeur de φ_r 14^k	12^k	10^k	8^k	6^k
5^k	S_r		141	97	64,5	37,6
	V_r		67,8	67,5	68,6	70,0
	α_r		2°38'	3°12'	3°54'	5°08'
4^k	S_r		125,5	88,5	60	36,5
	V_r		63,8	64,3	66,3	69,0
	α_r		2°48'	3°20'	4°03'	5°10'
3^k	S_r	146	110,5	81	55,5	35,5
	V_r	59^m,3	60,0	61,7	63,7	68,0
	α_r	2° 35	2°58'	3°30'	4°13'	5°16'
2^k	S_r	127,5	97,5	73,5	51,5	
	V_r	55.3	56,1	58,6	61.2	
	α_r	2°47'	3°13'	3°40'	4°21'	

On n'a inscrit que les valeurs de S_r comprises entre 35^{mq} et 150^{mq} ; on n'a inscrit aucun chiffre quand la valeur de S_r sort de ces limites.

AÉROPLANE CARRÉ

Direction de l'axe d'emmanchement : parallèle au côté.

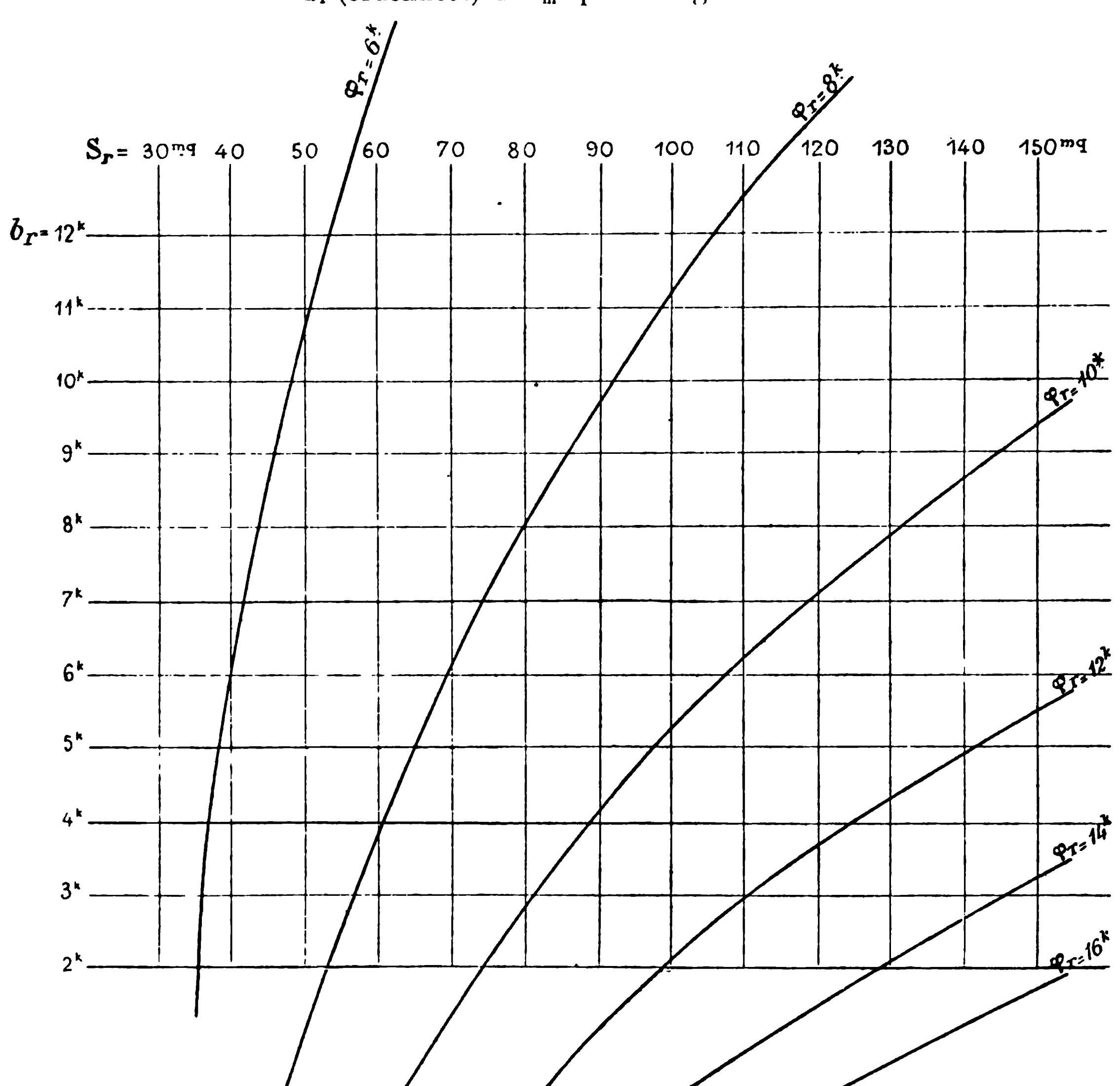
Courbes donnant b_r en fonction de S_r de par la relation

$$b_r = 102,6 \frac{\sqrt{S_r}}{\overline{\varphi_r}^{\,2}} - \frac{pf}{S_r}$$

en supposant $pf = 500^k$

Echelle des S_r (abscisses) 1 m/m pour 1 mètre carré.

— b_r (ordonnées) 1 c/m par kilogramme.



On constate tout d'abord, à l'examen du tableau, que les valeurs de α_r sont toutes bien suffisamment petites pour justifier l'emploi des formules qui ont servi aux calculs numériques : on peut donc tabler sur l'exactitude des chiffres de ce tableau.

APERÇU DES DIFFICULTÉS DU PROBLÈME

L'examen des chiffres du tableau et des courbes montre que, pour rester dans les limites de surface d'aéroplane où ils se renferment (entre 35 et 150 mètres carrés), on ne peut se mouvoir pour φ_r qu'entre les valeurs 14^k et 6^k. associées à des valeurs de b_r comprises entre 12^k et 2^k, les valeurs associées variant d'ailleurs en sens inverse : aux plus grandes valeurs de φ_r s'associent les plus faibles de b_r, et inversement.

Pour savoir si le tableau renferme quelque solution du problème, il faudrait connaître quelle est la plus grande surface d'aéroplane que pourrait construire l'industrie, quelles sont les plus faibles valeurs des poids unitaires b_r et φ_r que cette industrie peut réaliser ; on voit bien les difficultés de la solution : il suffirait que ces valeurs fussent $\varphi_r = 12^k$ et $b_r = 6^k$, pour qu'il n'y eut de solution qu'en dépassant 150 mètres carrés de surface d'aéroplane; si ces valeurs sont 12^k et 4^k, on peut descendre jusqu'à $125^{mq}5$, et le problème est possible si cette surface est réalisable. Mais il faut atteindre 63^m8 de vitesse de régime.

Le tableau donne d'ailleurs le maximum de ressources que l'on a de réaliser le problème par l'étendue des variations de φ_r et b_r ; on a beaucoup moins de ressources avec des surfaces d'aéroplanes plus grandes que les minima inscrits au tableau et des vitesses plus faibles. Le tableau suivant montre combien plus rares sont les valeurs de φ_r et b_r nécessitant moins de 150 mètres carrés d'aéroplane pour des vitesses de 40 et 50 mètres seulement. Il s'agit toujours de sustenter 500 kil. poids utile à transporter et on a appliqué la formule :

$$S_r = \frac{500^k + 0^k{,}012\, \overline{V}_r^{3}\, \frac{\varphi_r}{75}}{\frac{1}{2}\, 0^k{,}06\, \frac{2 \sin \alpha_r}{1 + \sin^2 \alpha_r} \cos \alpha_r\, \overline{V}_r^{2} - b_r} \quad \text{avec } \operatorname{tg} \alpha_r = \frac{75}{2\, V_r\, \varphi_r}$$



AÉROPLANE CARRÉ

Direction de l'axe d'emmanchement : parallèle au côté.

Tableau des surfaces d'aéroplane nécessaires, aux vitesses de régime de 40 mètres et 50 mètres, pour sustenter 500 ks. de poids utile, en plus des poids de l'aéroplane et de l'appareil moteur complet.

b_r	$\varphi_r = 10^k$	$\varphi_r = 8^k$	$\varphi_r = 6^k$
↓	**Vitesse de régime $V_r = 40^m$**		
	$\alpha_r = 5^o\ 20'$ $n\alpha_r = 0^k,\ 011$	$\alpha_r = 6^o\ 03'$ $n\alpha_r = 0^k,\ 0125$	$\alpha_r = 8^o\ 50'$ $n\alpha_r = 0^k,\ 018$
10^k	(impossibilité)	(impossibilité pratique)	132
8	(750)	(298)	90
6	(215)	147	68
4	125	98	55
	Vitesse de régime $V_r = 50^m$		
	$\alpha_r = 4^o\ 17'$ $n\alpha_r = 0^k,\ 0089$	$\alpha_r = 5^o\ 20'$ $n\alpha_r = 0^k,\ 011$	$\alpha_r = 7^o\ 03'$ $n\alpha_r = 0^k,\ 0143$
10	(655)	(176)	80
8	(228)	112	64
6	138	85	53
4	99	68	45

Les courbes montrent que la petitesse de φ_r est plus importante que celle de b_r. Si, par exemple, l'industrie pouvait réaliser $\varphi_r = 6^k$, on pourrait parcourir une échelle étendue de valeurs de b_r, et par conséquent, rencontrer celle de ces valeurs industriellement réalisable, sans que la valeur de S_r cessât de se maintenir dans des limites faibles et parfaitement acceptables : si c'est b_r qui peut être petit, on ne parcourt une certaine portion de l'échelle des valeurs de φ_r, qu'avec une variation très grande des valeurs de S_r correspondantes. On peut donc dire qu'il importe d'avoir un aéroplane léger, mais surtout un moteur léger.

Encore, dans tout ce qui vient d'être dit, faut-il ne pas perdre de vue la signification exacte des poids unitaires b_r et φ_r résultant de leur définition : φ_r est le poids de l'appareil moteur, absolument complet, y compris même l'approvisionnement consommable d'énergie, rapporté au cheval *utile de la puissance qu'il développe à l'allure de régime* : mais il n'est point forcé que cette puissance soit le maximum de toutes celles dont il est capable ; nous verrons au cours de cette étude que cette puissance doit varier selon le mouvement à obtenir, et il se pourra qu'à d'autres allures que celle de régime, permanentes ou de transition, elle soit plus grande qu'à celle-ci, en d'autres termes, si on appelle φ le poids de l'appareil moteur complet, par cheval utile de sa puissance maximum, qui soit industriellement réalisable, et qui donne vraiment la mesure de sa légèreté relative, on aura $\varphi_r = m\varphi$ où m, s'il n'est égal à 1, ne peut être que plus grand que 1.

De même, b_r est le poids de l'aéroplane *par mètre carré de la surface qu'il a en allure de régime ;* mais nous verrons encore en cours de cette étude que la base même de la manœuvre de l'aviateur consiste dans la variabilité du déploiement de cet aéroplane constitué convenablement dans ce but, et si on appelle b le poids par mètre carré de la surface qu'il a à son déploiement maximum, on a $b_r = nb$, n'étant plus grand que 1, ou au moins égal à 1. Les difficultés d'exécution sont donc plus grandes encore que ne l'indiquent les chiffres du tableau ci-dessus, où ce sont les quantités b_r et φ_r, et non b et φ, qui figurent.

Maintenant, quelles améliorations peut-on espérer, qui viendraient restreindre ces difficultés, et donner meilleur espoir d'arriver à une solution ? Peut-être le chiffre de 60 grammes de pression, par mètre carré de surface, du vent normal de 1 mètre de vitesse est-il trop faible ? Peut-être, probablement même, croyons-nous, du moins, les vraies lois en fonction de la surface et de la vitesse sont-elles plus avantageuses que celles admises. Mais surtout, il ne faut pas oublier que tout ce qui précède suppose un aéroplane carré, avec axe d'emmanchement parallèle au côté; or, on sait déjà par les expériences

de Langley que, jusqu'à $\alpha = 30^\circ$ du moins, une aile rectangulaire allongée dans le sens de l'axe d'emmanchement, parallèle à son grand côté par conséquent, reçoit du vent une action plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, qu'une aile carrée. Là est la source de sérieuse amélioration. A l'expérience de déterminer la meilleure configuration et le meilleur azimut, restreignant au minimum les exigences de légèreté de poids de l'aéroplane et de l'appareil moteur ; à l'industrie, ensuite, de chercher à satisfaire à ces exigences aussi réduites que possible. Enfin, et aussi, la forme concave des ailes sera-t-elle peut-être plus efficace que la forme plane ; il faudra demander à l'expérience de trancher également cette question, que nous n'étudions pas théoriquement.

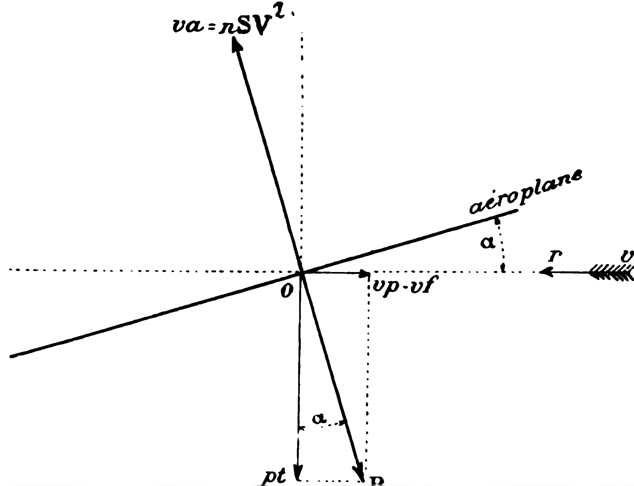
L'étude expérimentale pourra en être faite à l'aide des appareils d'expérience indiqués dans la 1re partie, et dans lesquels on remplacera les plans d'essai par des surfaces creuses.

II

Allures rectilignes horizontales en air calme, à des vitesses atténuées, moindres que celle de régime. Constitution géométrique des ailes.

Il sera évidemment utile de pouvoir avoir de telles allures, soit qu'on ait besoin de ralentir, soit qu'on se prépare à atterrir. Elles auront lieu à des vitesses ayant une série de valeurs, comprises entre la vitesse de régime V_r, la plus grande de toutes, et une vitesse minimum V_m.

Voyons à quelles conditions on peut avoir, pour cette série d'allures, l'équilibre des forces agissant sur l'aviateur, placé et se mouvant suivant son axe, comme nous l'avons supposé en allure de régime, à la vitesse près.



Ces forces sont :

1° Le poids pt total, passant par o, à condition toutefois que le poids particulier de l'aéroplane soit toujours appliqué en ce point, ce qui aura lieu, si le centre de gravité de chaque aile est sur l'axe d'emmanchement, pour toute allure.

2° La force vf, connue, puisqu'on se donne la vitesse du vent relatif et les formes du fuseau. Elle passe par o.

3° La force vp, connue, étant donnés le vent relatif et une certaine disposition du propulseur, choisie parmi celles qu'il peut avoir, pour correspondre à l'allure envisagée. Elle passe également par o.

4° L'action va, qui doit faire équilibre à la résultante OR des trois premières forces, située dans le plan ag vertical. Elle est de la forme $n\,SV^2$,

où V est la vitesse de l'allure envisagée, S la surface de l'aéroplane, *n* l'action du vent de vitesse 1 sur une surface semblable à l'aéroplane et semblablement placée, égale à l'unité : *n* dépend de la configuration de cette surface unité, de l'azimut et de l'inclinaison du vent-unité frappant.

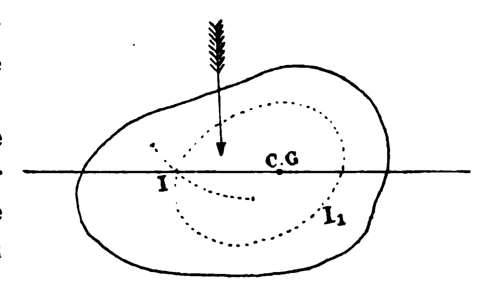
Chacune des deux ailes de l'aéroplane doit, en conséquence, satisfaire aux conditions suivantes :

1° Avoir son centre de gravité sur l'axe d'emmanchement.

2° Avoir sur ce même axe d'emmanchement le point d'impact d'un vent de vitesse V d'azimut perpendiculaire au dit axe, et faisant avec son plan l'angle donné α, que fait O R avec la verticale.

Si les conditions 1° et 2° sont remplies, cette aile, folle sur son axe d'emmanchement, s'orientera automatiquement et stablement de façon à faire l'angle α avec le vent, dont l'action sur elle sera inclinée de α sur la verticale.

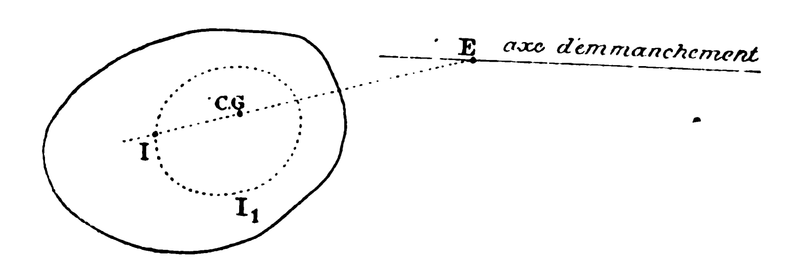
3° Etre telle en configuration, surface, et disposition par rapport à l'axe d'emmanchement, que l'action du vent sur elle $n \frac{S}{2} \overline{V}^2 = ns \overline{V}^2$ soit égale à 1/2 *o* R, soit à une quantité donnée, V étant d'ailleurs donné.



Soit une aile ayant une surface *s* sous une certaine configuration ; CG le centre de gravité de cette aile, — II_1 la courbe d'impact isocline pour l'angle donné α ; soit qu'on puisse trouver sur cette courbe un point I tel que la ligne I-CG soit perpendiculaire à l'azimut du vent incliné de α frappant au dit point ; si on fait coïncider la ligne I-CG avec l'axe d'emmanchement, une telle aile remplira les deux premières conditions ; mais il se pourra que le produit *ns* n'ait pas la valeur voulue pour remplir la troisième. Si maintenant on traite de même toutes les configurations dont nous supposons l'aile susceptible sous sa même surface *s*, on en trouvera en général une pour laquelle *ns* aura la valeur convenable. Le problème, pour le cas d'une valeur V donnée, sera donc résolu avec une certaine surface d'aile, une certaine configuration, et par une certaine position de l'axe d'emmanchement dans la figure de l'aile. Pour une autre valeur de V, il faudra peut-être la même surface d'aile, une autre configuration, une autre position de l'axe d'emmanchement ; peut-être aussi, faudra-t-il avoir recours aussi à une autre valeur de la surface.

On aura ainsi dans chaque cas à déformer l'aile pour lui donner la surface

et la configuration nécessaires, et à amener la ligne I-CG, construite comme on l'a vu, sur l'axe d'emmanchement. Il s'agit d'assurer pratiquement cette adduction. Il est simple de supposer, dans ce but, que l'aile puisse tourner autour d'un axe perpendiculaire à son plan, et rencontrant l'axe EE en un point fixe E, dit point d'insertion de l'aile ; elle peut être déformée dans son plan sans rotation autour de cet axe, et tourner autour de lui indépendamment de cette déforamtion.



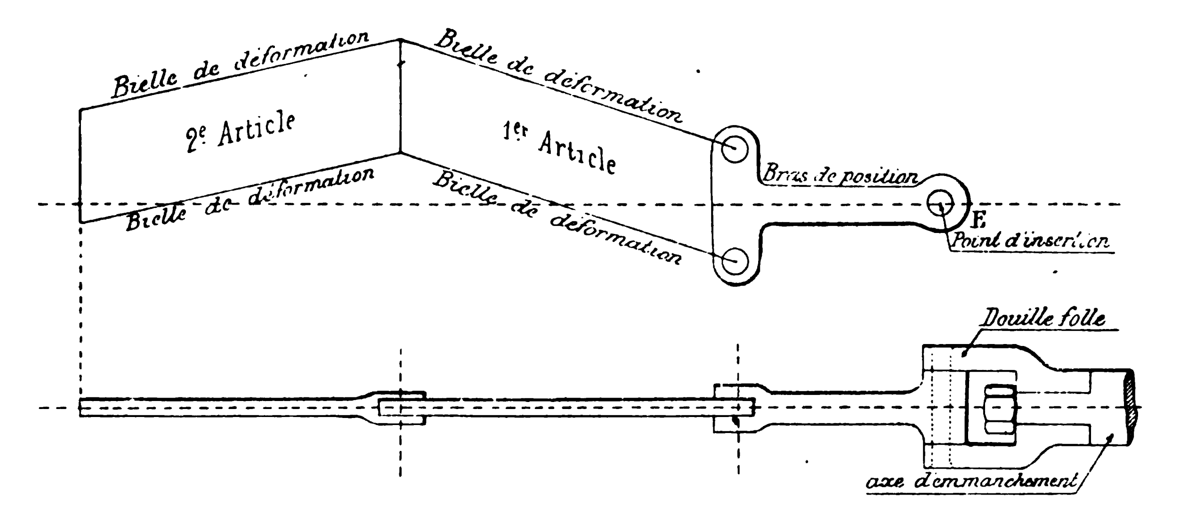
Cette donnée géométrique fixée, reprenons la solution de notre problème pour la vitesse V. Pour une certaine figure de l'aile, correspondant à une certaine surface et à une certaine configuration, joignons le point d'insertion au centre de gravité ; la ligne E-CG rencontrera la courbe d'impact isocline pour l'angle α, II_1, en un point I ; la ligne EI n'est pas forcément perpendiculaire à l'azimut correspondant au point I sur la courbe II_1, et cette condition ne sera remplie que pour une des configurations que peut présenter la surface : mais il n'est point dit que pour celle-là, *ns* ait la valeur voulue, et il faudra, pour remplir également cette dernière condition, faire appel à une série de surfaces différentes, parmi lesquelles en général une y satisfera : — De même pour toute autre valeur de V.

Finalement, l'aile doit pouvoir avoir une série de surfaces différentes, pour chaque surface une série de configurations, et pouvoir tourner, quelle que soit sa figure du moment, autour d'un axe perpendiculaire à son plan, passant par le point d'insertion, appartenant à l'axe d'emmanchement de façon à amener sur cet axe le centre de gravité de l'aile, une fois que celle-ci a la figure voulue.

Comment réaliser ces propriétés ?

A l'extrémité de l'axe d'emmanchement, plaçons une douille folle sur lui, et portant un axe passant par le point d'insertion, et perpendiculaire au plan de l'aile ; autour de cet axe, tourne dans le plan un bras dit de position, parce qu'il sert à mettre l'aile, quand elle est à la surface et à la configuration nécessaires, en position voulue par rapport à l'axe E E. Ce

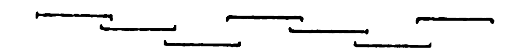
bras porte à son extrémité une traverse sur laquelle sont articulées deux bielles, dites de déformation, parallèles, qui servent à donner la surface voulue à une première partie de l'aile, dite premier article, à la suite



duquel vient un second article, muni également de deux bielles de déformation parallèles, articulées à l'extrémité de celles du premier article comme le montre la figure.

Pour la variabilité de sa surface, on composera chaque article de rectangles longs, analogues aux rémiges des oiseaux, distribués en plusieurs plans parallèles : nous les supposerons, par exemple, tous de même largeur et mus de façon à rester toujours parallèles à eux-mêmes, et à se recouvrir progressivement jusqu'à contact des éléments du même plan.

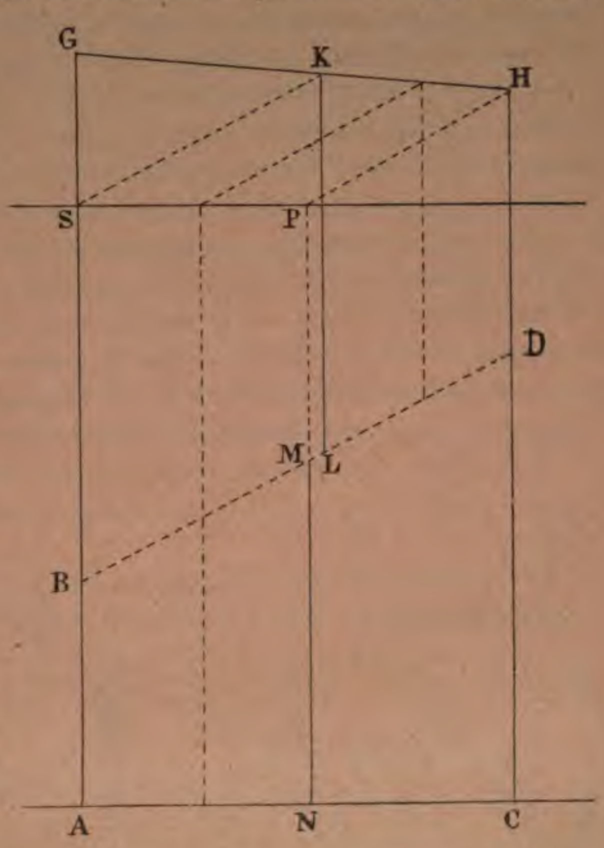
Eléments sur deux plans permettant une variation de surface de 1 à 2.



Eléments sur trois plans permettant une variation de surface de 1 à 3.

Ces éléments seraient articulés sur leur ligne milieu avec les deux bielles de déformation parallèles. La variation de la surface de l'article s'obtiendra par la rotation de l'une des deux bielles autour de son pied : cette variation est liée à l'angle ε que font les bielles avec la perpendiculaire à la ligne joignant les pieds des deux bielles.

qu'une configuration : il en est tout autrement quand il y a deux articles, l'un au bout de l'autre, se déformant indépendamment l'un de l'autre par des rotations que l'on peut associer d'une infinité de façons, de manière à réaliser une surface d'aile donnée : soit que l'un des articles puisse réaliser toutes les valeurs de surface comprises entre AB et CD, et l'autre entre DH et BG ; pour réaliser une surface totale d'aile AS, il suffira d'ajouter à une des valeurs de la première surface comprises entre AB et MN une valeur correspondante de la deuxième surface, comprise entre KL et HD, (SK et PH étant des lignes parallèles à BD). Il y a donc, pour réaliser une surface donnée, toute une série de solutions, soit une série de configurations pour une même surface.



COMPARAISON DES AILES AVEC CELLES DES OISEAUX

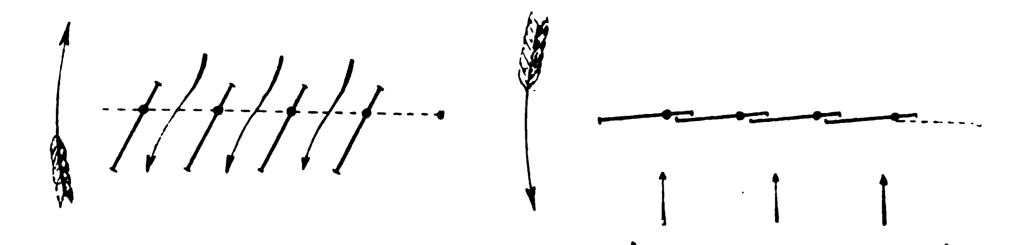
La constitution géométrique des ailes de l'aéroplane, que nous avons trouvée nécessaire, se retrouve identiquement dans les ailes des oiseaux. Celles-ci certes ont dans le vol un rôle plus complexe que celui de l'aéroplane étudié; elles ont, en effet, le battement d'ailes, que nous n'avons pas supposé à ce dernier, et grâce auquel elles jouent aussi le rôle de propulseur ; mais certains oiseaux sont de grands planeurs et traversent de vastes espaces sans un coup d'aile, ou avec de très rares coups d'ailes.

Le squelette de l'aile, laquelle correspond au membre antérieur ou bras de l'homme, présente nettement, au premier coup d'œil, trois parties qui

sont, en partant du corps : l'humérus, — le cubitus et le radius, soudés ensemble à leurs extrémités, — la main, formant un seul bloc, mais présentant cependant encore un pouce distinct. En presque totalité, les rémiges sont fixées au cubitus-radius et à la main ; l'humérus n'en ayant pas ou presque pas ; cette dernière pièce, qui joue le rôle de celle que nous avons dénommée bras de position, possède autour de son point d'articulation sur le squelette (sommet du trépied constitué par la clavicule, l'os coracoïde et la fourchette), divers mouvements parmi lesquels un mouvement d'une certaine amplitude l'écartant du corps dans le plan moyen de l'aile. En conséquence, on est fondé à dire que l'aile de l'oiseau présente deux articles consécutifs placés au bout d'un bras de position, articulé lui-même en un point fixe de l'axe d'emmanchement, ce dernier joignant les sommets des os coracoïdes symétriques par rapport au plan de symétrie du corps de l'oiseau.

Par ailleurs, les muscles d'insertion des rémiges permettent le déploiement en éventail, disposition d'une grande ressource pour la variation de la surface.

Les rémiges sont aussi disposées pour pouvoir tourner autour de l'axe de leur tige, lorsque, dans le battement d'ailes, les oiseaux ramènent leurs



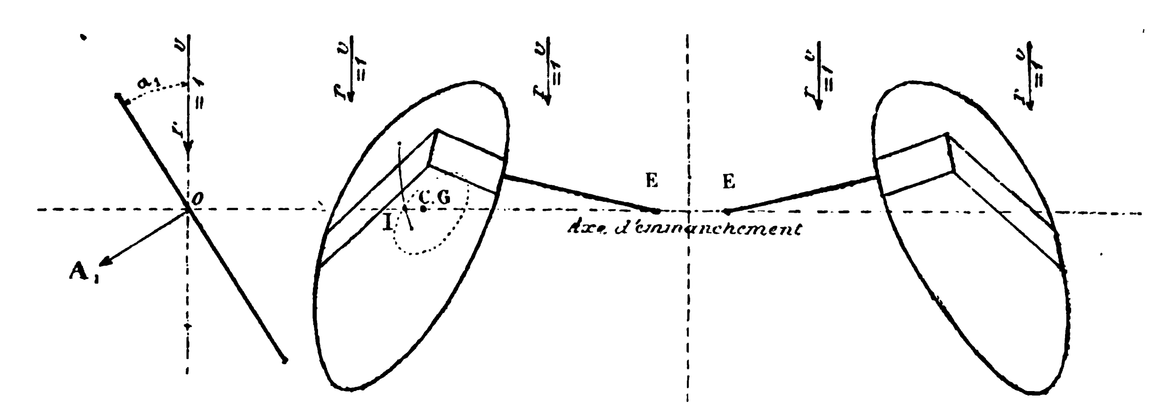
ailes dans un sens, pour pouvoir de nouveau frapper l'air dans l'autre sens. Les éléments qui restent appliqués les uns contre les autres par la pression même de l'air refoulé dans le mouvement d'un certain sens, donnent automatiquement passage à l'air dans le mouvement inverse.

Enfin, les ailes des oiseaux, semble-t-il du moins, frappent l'air par une surface plutôt concave que parfaitement plane : ce fait peut avoir une raison d'être dans la convenance, pour l'aile au repos, d'épouser les formes arrondies du corps, mais il se peut aussi qu'il ait une conséquence mécanique, que nous n'avons pas étudiée, mais qu'il sera sans doute possible d'étudier, en munissant de surfaces concaves l'appareil d'expérience décrit dans la 1re partie de ce travail.

COURBE CARACTÉRISTIQUE D'UN AÉROPLANE

Résumons, pour clarté, tout ce qui vient d'être dit au sujet de la constitution trouvée jusqu'ici nécessaire et suffisante pour l'aéroplane.

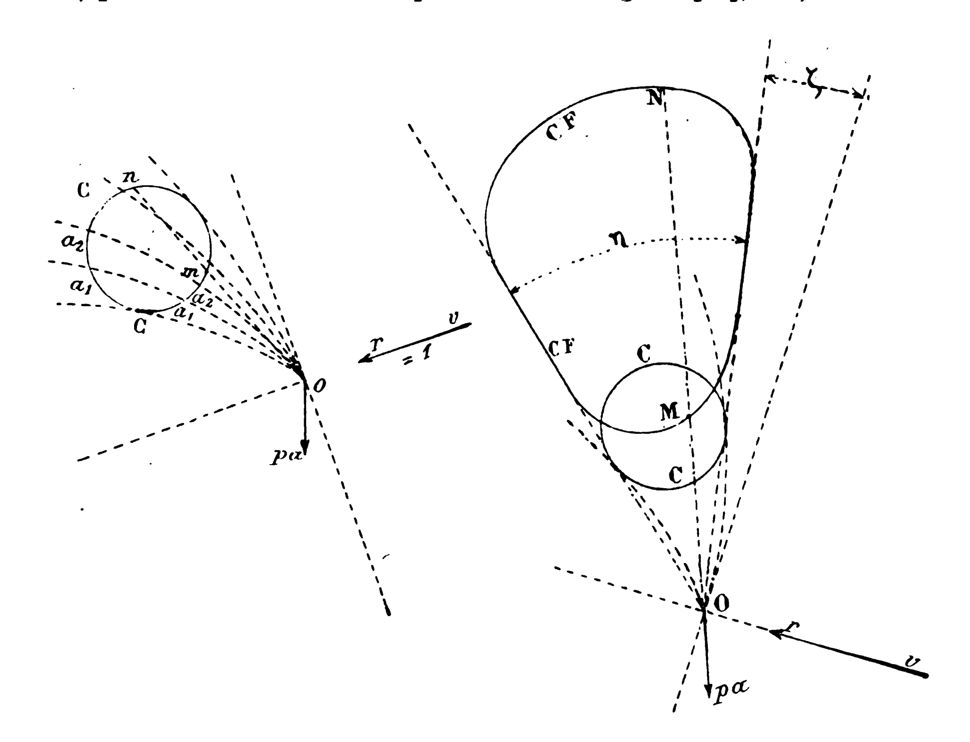
Les deux ailes sont planes, — situées dans un même plan, — parfaitement symétriques par rapport à une ligne de ce plan. Elles sont montées folles sur un même axe d'emmanchement, contenu dans leur plan commun, et perpendiculaire à leur ligne de symétrie. Elles comprennent chacune deux articles déformables indépendamment, dans leur plan, et permettant de leur donner, entre certaines limites, une série de surfaces, et pour chaque surface une série de configurations; enfin, quelle que soit leur figure, elles peuvent tourner, dans leur plan, grâce au bras de placement, autour d'un point fixe de l'axe d'emmanchement, nommé point d'insertion.



Supposons à chacune, et symétriquement, une certaine surface et une certaine configuration, son centre de gravité se trouve alors quelque part, en CG ; la ligne joignant CG au point d'intersection E va rencontrer en un certain point I la ligne d'impact isoazimutale correspondant à un azimut perpendiculaire à la ligne E-CG ; en ce point I, passe une ligne d'impact isocline correspondant à un certain angle x_1 du vent relatif avec l'aile (1) : après que, par une rotation convenable du bras de placement, la ligne E-CG de chaque aile sera venue concorder avec l'axe d'emmanchement, l'aéroplane s'orientera automatiquement et stablement de façon à faire cet angle α_1, avec

(1) On voit, par cette construction, que si l'aile a son centre de gravité près de son bord d'amont, ses angles avec le vent relatif sont petits. C'est ce qui a lieu pour les oiseaux, dont les ailes ont leur bord antérieur constitué par les os de leur squelette, et les muscles qui s'y rattachent.

un vent relatif perpendiculaire à ce dernier axe EE. Supposons la vitesse *vr* de ce vent égale à l'unité : l'action exercée sur l'aéroplane sera représentée en grandeur, direction et sens par une ligne oA_1 faisant dans le sens convenable l'angle α_1 avec la perpendiculaire à *vr*, et égale à $n_1 S_1$; pour la même surface et une autre configuration, on aura α'_1, et $oA'_1 = n'_1 S_1$; etc. En épuisant toutes les configurations d'une même surface, le lieu des extrémités des lignes représentatives des forces sera une certaine courbe $a_1 a_1$, qui se dirigera vers l'origine *o*, où elle serait tangente à la perpendiculaire au vent, puisque pour toutes surfaces et configurations, quand $\alpha = o$, la force est nulle; pour une autre surface S_2, on aura une ligne $a_2 a_2$, etc ; enfin, toutes



les lignes $a_1 a_1$, $a_2 a_2$, couvriront un espace limité par une courbe CC, dite caractéristique de l'aéroplane. Elle mérite bien ce nom, car à toute disposition que l'on peut donner à cet aéroplane dans les limites que permet son tracé, correspond une action du vent-relatif-unité représentée en grandeur, direction et sens par une ligne allant de *o* à un point intérieur à cette courbe, et réciproquement, le poids de l'aéroplane étant d'ailleurs toujours appliqué en *o*.

Cette courbe caractéristique forme une figure invariable avec la ligne *vr* et la suit dans ses déplacements. Elle varie naturellement pour un aéroplane donné, avec la pression, la température, l'humidité, soit en somme,

avec l'état que nous avons appelé dynamique, de l'air frappant cet aéroplane avec la vitesse unité ; il est vraisemblable qu'elle reste semblable à elle-même entre les deux mêmes rayons vecteurs extrêmes issus de *o*.

Si maintenant, on se fixe, *en plus*, deux limites vr_m et vr^M entre lesquelles se tiendra la vitesse du vent relatif, on pourra avoir la courbe, dite des forces, enfermant les extrémités de toutes les lignes représentatives des forces que ce vent peut exercer sur l'aéroplane, en épuisant toutes les combinaisons des différentes vitesses du vent relatif et des différentes dispositions dont est susceptible l'aéroplane. En multipliant tout rayon vecteur, telle que *om*, de la courbe CC, par $\overline{vr_m}^2$ (si c'est la loi du carré de la vitesse du vent qui est est exacte) et tout rayon vecteur, tel que *on*, par $\overline{vr^M}^2$, et portant les produits OM et ON dans les directions de *om* et de *on*, on obtiendra la courbe des forces CF comme lieu des points M et N. Cette seconde courbe est naturellement limitée par une certaine portion rectiligne des rayons vecteurs tangents à la courbe CC.

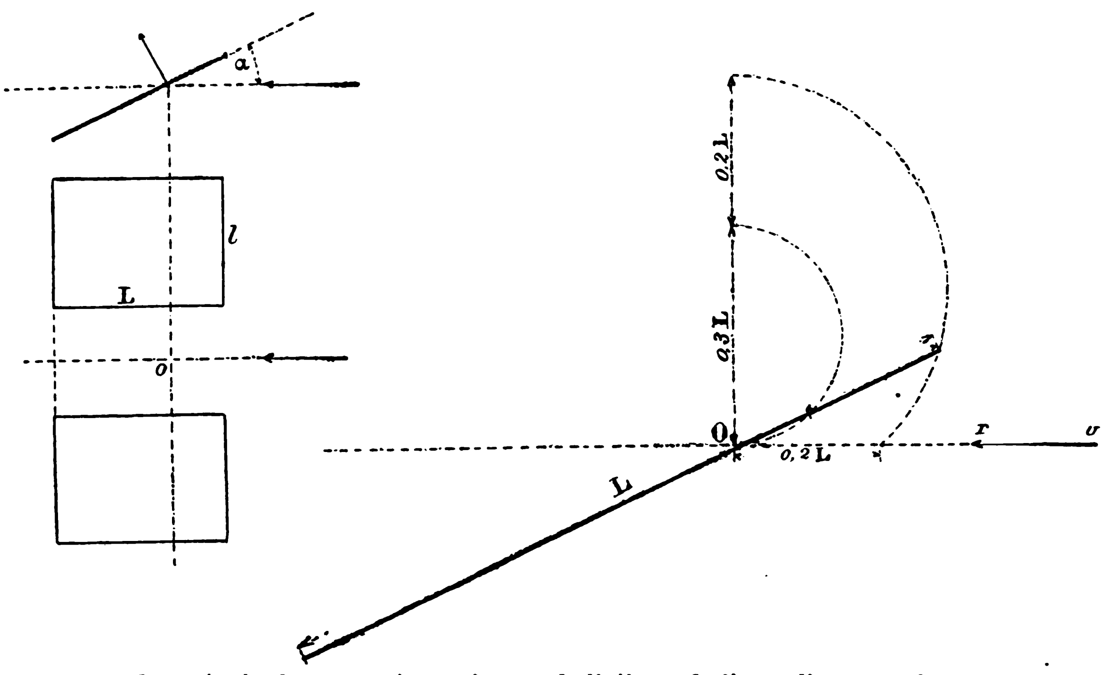
ETUDE D'UNE AILE PARTICULIÈRE, RECTANGULAIRE

L'aéroplane, dont la constitution générale est ci-dessus décrite, a pour propriétés : 1° de pouvoir-entre certaines limites-être disposé de telle façon qu'il reçoive d'un vent relatif déterminé une action dont la grandeur, la direction et le sens sont imposés d'avance ; 2° d'avoir son centre de gravité sur l'axe d'emmanchement, lequel contient également le point d'impact du vent relatif qui lui est d'ailleurs perpendiculaire.

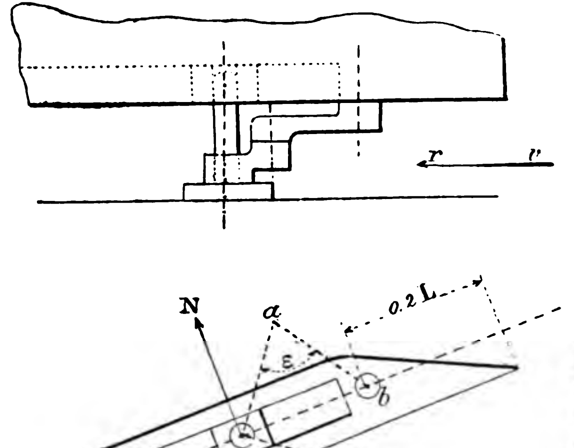
On peut obtenir ces résultats avec l'aile particulière, décrite ci-après : elle serait rectangulaire ; un des côtés, *l*, variable de longueur, pour faire varier la surface, est parallèle toujours à l'axe d'emmanchement, l'autre, de longueur fixe L, est perpendiculaire à ce dernier.

Le point d'impact d'un vent relatif perpendiculaire à l'axe d'emmanchement est à une distance de l'arête d'amont variable avec l'angle α du vent avec l'aile : si, ce qui paraît assez probable, cette distance est la même que pour les plaques rectangulaires plongées dans l'eau, dans les expériences de M. Joëssel citées plus haut, (1[re] partie) elle est égale à L (o, 2 + o,3 sin α); il en résulte que, par rapport à la ligne *vr* et au point d'impact supposé fixe en *o*, l'extrémité d'amont décrit, comme l'a fait observer M. Joëssel lui-même, une courbe obtenue en prolongeant d'une longueur

égale à L × 0,2 le rayon vecteur d'une demi circonférence ayant comme diamètre 0,3 × L et tangente en *o* à la direction du vent relatif.



Il en résulte la connexion suivante de l'aile et de l'axe d'emmanchement : sur celui-ci *o* est emmanchée, non clavetée, une bielle O*a* de longueur égale à 0,15 L ; cette bielle en commande une autre *ab* de même longueur et faisant avec elle un angle ε variable à volonté ; en *b*, la bielle est articulée à un point fixe de l'aile situé au cinquième (0,2) de sa longueur L à partir de l'arête d'amont ; par ailleurs, la direction de l'aile est astreinte à passer toujours par le point *o*, l'axe *o* s'engageant par son extrémité ronde dans un coulisseau pouvant glisser dans une rainure longitudinale de l'aile. Dans ces conditions, si on donne une certaine valeur à l'angle ε, le vent faisant avec l'aile l'angle $\frac{\varepsilon}{2}$ frappera cet aile en *o*.



Etant donc donnés le vent relatif vr, et aussi la force N à en obtenir, il suffira d'ouvrir les bielles d'un angle double de celui que fait vr avec la perpendiculaire à N, et de déployer suffisamment l'aéroplane rectangulaire, dans le sens de l'axe d'emmanchement, pour réaliser effectivement N.

Pour qu'aussi le poids de l'aile soit toujours sur l'axe o, il sera nécessaire de le composer d'une partie fixe m qui sera toujours appliquée en D, au cinquième (0,2) de L, et d'une partie m_1 se déplaçant à mesure que l'angle ε varie. — et à partir du point D correspondant à $\varepsilon = o$, — d'une quantité proportionnelle au déplacement corrélatif, à partir du même point, du point d'impact ; on doit avoir en effet :

A E O D B (m_1 en E, $m+m_1$ en O, m en D)

$$m_1 \times ED = (m + m_1)\, OD$$

$$\text{d'où } ED = OD \, \frac{m + m_1}{m_1}$$

c'est-à-dire que ED est proportionnel à OD.

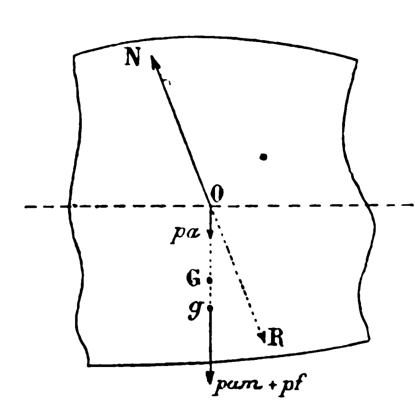
L'aéroplane rectangulaire pourra avoir, quel que soit son déploiement, son centre de gravité en D, c'est lui qui pèsera m; le poids m_1 est en quelque sorte un poids mort, ajouté, et qui constitue par conséquent un inconvénient, peut-être capital, de cette sorte d'ailes qui présente, par ailleurs, les avantages d'une grande simplicité de construction et d'une grande facilité de manœuvrage.

III

Passage d'une allure rectiligne horizontale à une autre également rectiligne horizontale prolongeant la première. Nécessité d'une queue.

Pour maintenir l'aviateur à une certaine vitesse horizontale V en air calme, il faut maintenir à l'aéroplane une certaine disposition qui lui permet de recevoir du vent une action égale et directement opposée à la résultante OR, qui passe par O, de toutes les autres forces.

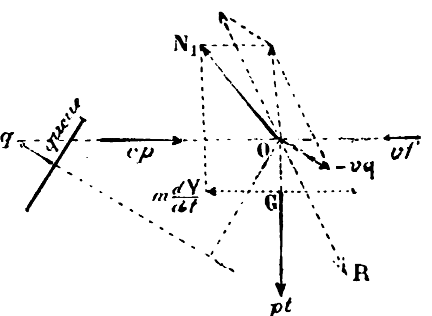
Mais si, au lieu de cet équilibre, on veut que la vitesse horizontale V, tout en restant horizontale, varie de dV dans le temps dt, il faudra qu'une force $m \frac{dV}{dt}$ soit appliquée au centre de gravité général G ; il ne suffira pas toutefois pour cela de manœuvrer l'aéroplane, pour modifier sa disposition de telle façon qu'il reçoive du vent l'action o N', résultante de o N et de $m \frac{dV}{dt}$; il faut se préoccuper de plus de neutraliser le couple $m \frac{dV}{dt} \times oG$ qui prendrait alors naissance. A cet effet, une queue, analogue à celle des oiseaux, est nécessaire à l'aviateur.



Supposons-la constituée par une surface plane, d'étendue et de configuration fixes, normale au plan ag, et tournant autour d'un axe, ligne fixe de sa figure, également normal au même plan, celui-ci divisant d'ailleurs la surface de cette queue en deux parties égales et symétriques par rapport à lui : soit γ l'angle du plan de la queue avec le plan horizontal : à toute valeur de γ, définissant la disposition dq de la queue correspond une force vq, située dans le plan ag par raison de symétrie, et de grandeur, direction et sens bien déterminés ; ayant, par conséquent, un moment par rapport au point o bien déterminé ; la condition que ce moment doit neutraliser celui de $m \frac{dV}{dt}$ $\left(\text{donné, si on se donne } \frac{dV}{dt}\right)$, détermine donc γ, et par conséquent

dq et *vq* qui en résultent. En d'autres termes, l'équation des moments dans le plan *ag* fixe à elle seule la force *vq* en grandeur, direction et sens.

Quant à la disposition *da* à donner à l'aéroplane, elle sera celle qui lui permettra de recevoir du vent une action oN_1 résultante des forces $(-vq)$, $(-oR)$ et $\left(m\dfrac{dV}{dt}\right)$; oR ne comprenant pas, bien entendu, la force *vq*, mais simplement *pt*, *vf* et *vp*.



Au bout du temps *dt*, la vitesse étant devenue $V' = V + dV$, si l'on veut, au bout d'un nouveau temps *dt*, l'amener à être $V' + dV'$, on aura à assurer simultanément des dipositions *dq'* et *da'* convenables, infiniment voisines de *dq* et *da*, et ainsi de suite.

Le passage, selon une loi en fonction du temps que l'on peut se donner d'avance, d'une vitesse horizontale à une autre, s'obtient donc par une variation continue, fonction du temps, des dispositions de l'aéroplane et de la queue, les dispositions simultanées de ces deux organes étant connexes.

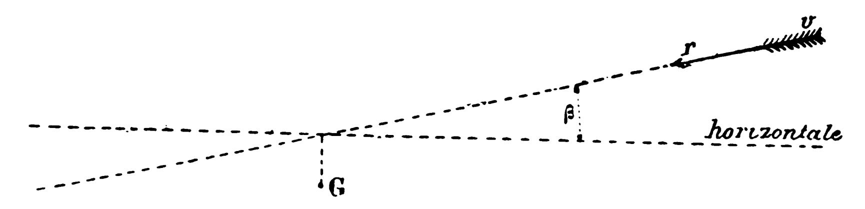
Les dimensions de la queue, toutes choses égales d'ailleurs, auront à être d'autant moins grandes, que cet appendice sera situé plus loin de G et que la quantité OG sera plus petite.

Théoriquement, et dans la question qui nous occupe, une queue à surface invariable, pourvu que celle-ci soit calculée suffisante, pourrait, grâce à la disposition *dq* qu'on lui donnerait, et quelle que soit la vitesse V de l'instant, donner lieu à un moment de *vq* par rapport à *o* neutralisant celui de $m\dfrac{dV}{dt}$ par rapport au même point, pour toute l'étendue des valeurs que l'on veut pouvoir donner à V et à $\dfrac{dV}{dt}$: il est toutefois possible que, lorsqu'on traduira ces considérations en chiffres, on reconnaisse plus commode, pour la manœuvre de l'aéroplane, d'avoir une queue à étendue variable, déployable en éventail comme celle des oiseaux, tout en restant symétrique par rapport au plan *ag*; mais alors le déploiement de la surface de la queue doit-être une fonction bien déterminée de γ, qui reste la seule variable, à chaque valeur de laquelle correspond une force *vq* bien déterminée en grandeur, positions et sens.

IV

Allures obliques, ascendantes ou descendantes, en air calme.

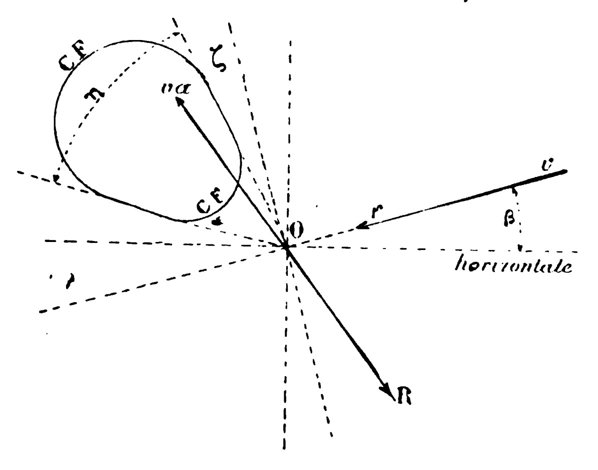
Lors d'une allure de ce genre établie uniforme, toutes les forces agissant sur l'aviateur se font équilibre : l'une d'elles, la force *va*, passant toujours par le point central *o*, la résultante de toutes les autres : *vf, vq, vp, pt*, situées d'ailleurs dans le plan *ag* vertical, devra passer par ce point, et par conséquent la somme de leurs moments par rapport à lui sera nulle et elles donneront, sur deux axes rectangulaires, une somme de projections égale à celle de *va*. On aura ainsi trois équations, pouvant déterminer trois inconnues, *par exemple* : les deux composantes de *va* suivant les axes rectangulaires, et l'angle γ du plan de la queue avec le plan horizontal, angle qui fixe comme on l'a vu ci-dessus, et *dq* et *vq*. Toutes les autres conditions du problème doivent être des données : *vf* est connu, étant donnés les formes du fuseau, la vitesse de l'allure, l'angle β avec l'horizontale, de la direction de la route, à



laquelle celle du vent relatif est directement opposée, et étant supposé aussi que l'axe du fuseau reste horizontal : (on étudiera plus loin la stabilité de cette horizontalité, qui est indispensable pour les voyageurs prenant place dans l'aviateur) — *vp* est également donné dans les mêmes conditions, si on se fixe la disposition *dp* du propulseur employée — *pt* est connu.

Les équations feront alors connaître l'inclinaison γ sur l'horizontale à donner au plan de la queue, la force *va* en grandeur, direction et sens, d'où la disposition à donner à l'aéroplane ; on aurait pu se donner γ, et déduire des équations *dp*, comme troisième inconnue ; celles-ci donneront toutefois, dans tous les cas, les deux composants de *va*. La ligne représentative de cette force ainsi déterminée pour l'équilibre devra tomber dans l'intérieur de la courbe des forces : or, celle-ci fuit en arrière ou vient en avant de la verticale, en tournant autour du point *o*, entraînée par la ligne de vent relatif,

à mesure que l'obliquité, ascendante ou descendante, augmente, de sorte qu'elle finit évidemment par être en dehors de la résultante oR, de toutes les forces, autres que *va*, résultante qui bien qu'elle puisse elle-même, grâce à l'orientabilité des ailes du propulseur, dont il va être question tout-à-l'heure, avoir un déplacement angulaire dans le même sens que celui de la ligne de vent relatif, ne peut cependant, comme on le verra, dépasser ainsi certaines positions limites, si bien que la courbe des forces, continuant à tourner avec la ligne *vr*, la laisse en dehors d'elle.



On ne peut donc pas dépasser en mouvement ascendant ou descendant uniforme, c'est-à-dire avec équilibre des forces, une certaine obliquité, qui sera d'autant plus grande que la courbe des forces, et par suite la courbe CC caractéristique de l'aéroplane, comprise, comme on l'a vu, entre les mêmes rayons secteurs partant de *o*, que la courbe des forces, s'étendront plus près de la perpendiculaire au vent relatif, et occuperont un plus grand espace angulaire, ou si l'on veut, que l'angle ζ sera plus petit, et l'angle η plus grand.

Le changement de vitesse suivant une route oblique, sans changer la direction de cette route, se raisonne comme on l'a vu pour changer la vitesse horizontale et s'effectue par des manœuvres convenables non plus seulement de l'aéroplane, mais aussi de la queue.

UTILITÉ D'UN PROPULSEUR A AILES ORIENTABLES

Un moyen d'augmenter l'étendue angulaire du faisceau des routes obliques possibles en air calme est de pouvoir disposer à volonté le propulseur de façon à augmenter ou diminuer convenablement, toutes choses égales d'ailleurs, la composante horizontale de OR, dont la poussée du propulseur fournit la très grosse partie : on peut ainsi faire rentrer dans l'angle η la ligne OR,

qui venait d'en sortir. Le propulseur devra donc être à ailes facilement orientables et manœuvrables de l'intérieur de l'aviateur, de façon à donner des poussées variables, les plus grandes étant employées pour les routes les plus ascendantes ; d'où une limite imposée à cette ascendance par le maximum dont est susceptible la valeur de la poussée. On agrandirait le faisceau des routes descendantes si on réalisait des poussées négatives : il semble donc qu'il y aurait lieu d'examiner, quand on traduira en chiffres ces considérations théoriques, s'il est opportun de pouvoir atteindre ce résultat, ce qui mènerait à la complication du mécanisme, par l'addition d'un changement de marche, complication à éviter dans le cas présent, tant au point de vue de ne pas alourdir l'appareil, qu'à celui de ne pas créer de nouvelles chances d'avaries : mais l'étude de la stabilité tranchera la question en établissant que la poussée *vp* doit toujours être positive et avoir une valeur suffisante, ce qui restreint l'étendne angulaire du faisceau des routes descendantes possibles. Aux routes les plus descendantes, correspondront les plus petites poussées, positives toujours, du propulseur.



V

Passage d'une allure oblique à une autre d'obliquité différente contenue dans le même plan vertical en air calme.

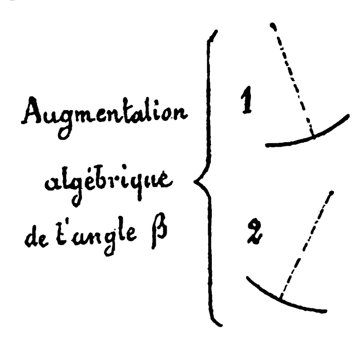
Soit à passer de la vitesse V à la vitesse V + dV de direction différente infiniment voisine dans le temps dt, ces deux vitesses étant d'ailleurs dans un même plan vertical ; soit aussi r le rayon de courbure de raccordement des deux vitesses. Des cinq forces vf, vp, vq, va, pt, qui agissent sur l'aviateur, trois, vf, vp, pt sont connues, si on suppose de plus l'axe du fuseau horizontal, et qu'on fixe la disposition dp du propulseur, les deux autres, vq et va, comme on l'a déjà vu pour le mouvement variable rectiligne horizontal, seront déterminées par les trois équations établissant que la résultante générale passe par G, et qu'elle est égale à la force G D obtenue en composant

$$m\frac{V^2}{r} \text{ et } m\frac{dV}{dt}.$$

La force va, dont la ligne représentative GF doit, bien entendu, portée parallèlement à elle-même en o, aboutir dans l'intérieur de la courbe des forces, résulte de la composition de la force GR, résultante de toutes les autres forces, prise en sens contraire, avec la résultante GD de $m\frac{V^2}{r}$ et de $m\frac{dV}{dt}$.

Or, GD peut être de même ordre de grandeur que GR ; c'est ainsi que $\frac{m\,V^2}{r}$ serait égal à pt, poids de l'appareil, si on se donnait $r = 200^m$ et $V = 45^m$;

or, *pt* est la composante tout à fait prédominante de GR. Aussi, si, comme dans la figure, la courbure de la trajectoire du centre de gravité est dirigée en sens inverse de la pesanteur (pour passer à une allure plus ascendante ou moins descendante, en un mot, pour augmenter algébriquement l'angle β), on voit que la force à obtenir de l'aéroplane sera beaucoup plus grande que celle qui correspondrait à la conservation de l'état actuel de mouvement, et pourra facilement en être le double, par exemple.



S'il s'agit de diminuer algébriquement l'angle β, la force *va* pourra être très-réduite au contraire : mais la correction que subit la force *va* d'équilibre, correspondant à une allure donnée, en vue de modifier la route et la vitesse, pour passer à une allure voisine, correction qui a lieu principalement par l'adjonction des forces $\frac{mV^2}{r}$ et $m\frac{dV}{dt}$ n'a pas seulement pour effet une augmentation ou une diminution de cette force, elle a aussi celui de changer sa direction, l'écart angulaire qu'elle lui imprime pouvant être très-marqué dans le cas 3 de la figure, d'autant plus que l'allure à modifier est plus ascendante, et qu'on veut plus augmenter la vitesse en passant à une moins ascendante : il faudra, dans pareil cas, pour que la force à obtenir de l'aéroplane ne s'éloigne pas trop angulairement de celle d'équilibre, que le rayon de la courbure de la trajectoire soit très-grand, soit le changement de direction de la route très-lent, et l'augmentation de vitesse très-lente aussi.

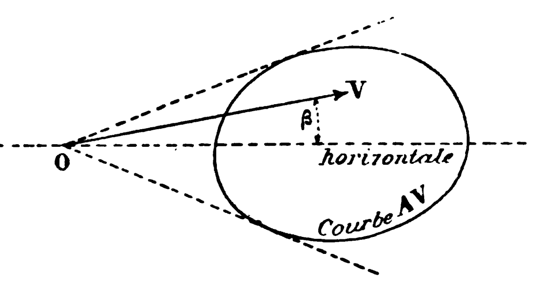
Diminution
algébrique
de l'angle β
3
4

Toutes les forces à obtenir de l'aéroplane devant tomber dans l'intérieur de la courbe des forces, la force d'équilibre devra tomber dans une région angulaire moyenne laissant de part et d'autre la place aux forces de déséquilibre, telles que GF.

VI

Courbe caractéristique de l'aviateur

Le plan du papier étant le plan axial vertical du fuseau, traçons à partir d'un même point o de l'horizontale les lignes, telles que oV, représentant en direction et sens, et à une certaine échelle, en grandeur, les vitesses de tous les mouvements uniformes dont est susceptible l'aviateur dans l'air calme d'état dynamique-type considéré. Les points tels que V, extrémités de ces lignes, se trouvent tous à l'intérieur d'une certaine courbe AV, caractéristique de l'aviateur dans cet air. En général, pour un angle β donné, soit pour une direction de route donnée, il y aura une série d'allures ou de vitesses possibles, comprises entre un maximum et un minimum. La courbe AV est comprise dans l'intérieur d'un certain angle de sommet o et comprenant l'horizontale; on a vu, en effet, qu'il y a une limite à l'angle des routes ascendantes ou descendantes possibles, avec l'horizontale.



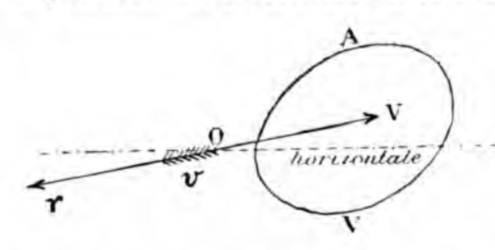
La courbe AV est arrêtée en position par rapport à l'horizontale. Pour un air calme d'état dynamique différent de celui considéré, il y aurait une courbe caractéristique différente.

VII

Manœuvres en restant dans le plan axial vertical, appareil indicateur du vent relatif et courbe A I

Jusqu'à présent, dans l'étude de tout mouvement, établi ou de transition, contenu dans le plan vertical axial, nous avons supposé : 1° Que l'axe du fuseau était horizontal ; 2° Qu'on s'était fixé d'avance une certaine disposition *dp* du propulseur, puis nous avons conclu qu'il fallait donner à la queue et à l'aéroplane certaines dispositions *dg* et *da*, déduites des 3 équations établissant qu'il y a au centre de gravité général la force voulue pour le mouvement à obtenir, et qu'il n'y a pas de moment résultant des forces autour de ce centre.

Soit d'abord à maintenir uniforme une allure, représentée par la ligne *o*V, aboutissant à l'intérieur de la courbe caractéristique AV. L'horizontalité de l'axe du fuseau étant supposée ne pas faire question et exister, le manœuvrier devra réaliser les *dp*, *dq*, *da* qui correspondent au maintien de cette allure ; il faut donc qu'il connaisse et cette allure elle-même et les trois dispositions correspondantes. Il faut donc qu'un appareil indique à chaque instant sous ses yeux l'allure actuelle, et qu'en regard de cette indication soient inscrites les dispositions *dp*, *da*, *dq* correspondant à sa conservation, soit à l'équilibre des forces.



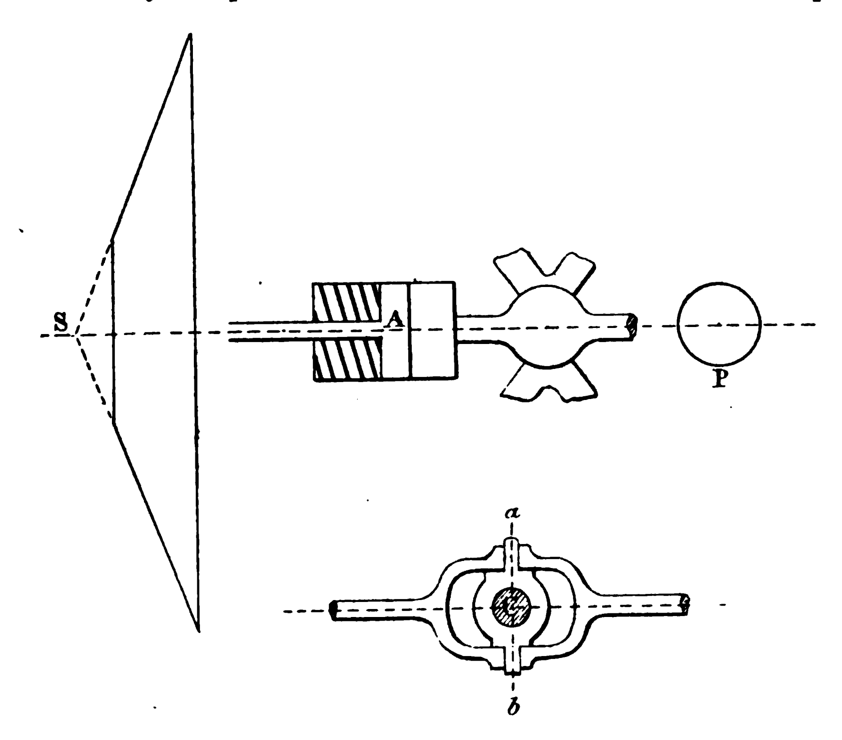
Mais il convient aussi de remarquer qu'il y aurait intérêt à ne pas laisser le manœuvrier chargé de trois manœuvres simultanées, c'est trop pour lui, et d'autre part, il ne faut pas songer à avoir une personne par manœuvre, vu le nombre de personnes extrêmement restreint que pourra, conjecturons-nous, transporter l'aviateur.

Voici comment on pourra satisfaire à ces divers desiderata :

a) Et d'abord, quel appareil pourra indiquer l'allure actuelle ? Comme la ligne *o*V est égale et directement opposée à celle qui représenterait, en direction et sens, et à la même échelle en grandeur, le vent relatif, cet appa-

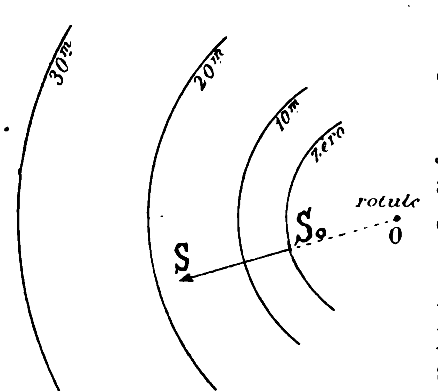
reil pourra être un anémomètre ou appareil indicateur du vent relatif, que nous désignerons par A I.

Il se composerait au mieux, semble-t-il, d'un tronc de cône suffisamment évasé, dans lequel le vent relatif entrerait par la grande base ; ce tronc de cône, de révolution, serait relié invariablement à une tige matérielle occupant la place de son axe ; cette tige serait extensible selon l'effort exercé sur la surface tronconique, effort qui mesurera la vitesse du vent relatif si on connaît l'état dynamique de l'air dont il est fait. Elle sera libre de prendre

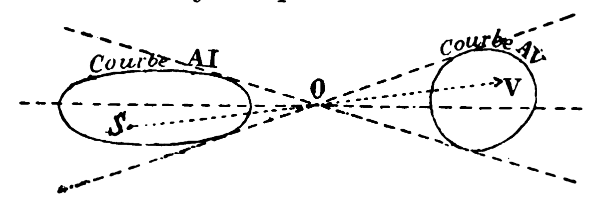


une direction quelconque dans l'espace, soit en faisant rotule dans une genouillère fixée à l'aviateur, soit en tournant auteur d'un axe *ab*, pouvant tourner lui-même autour d'un second axe c, auquel il est perpendiculaire, et qui est lié au fuseau. De plus, le système devra rester parfaitement équilibré sur la genouillère ou sur l'axe lié au fuseau, à l'aide d'un contrepoids P convenablement mû par l'extension même de la tige. Dans ces conditions, et pourvu que la rotule ou la double articulation soit, dans tous les cas, à distance convenable du sommet du cône, la tige s'orientera automatiquement et stablement dans la direction même du vent relatif. Tout point de la partie AS de la tige, point auquel serait placé un stylet traçant, peut indiquer en SS_0 le vent relatif, le point S étant sa position actuelle, le point S_0 celle qu'il

aurait au repos, par vent relatif nul, sur la ligne joignant S à la rotule; SS_0 ne représente en réalité que l'action, exercée par le vent sur la surface tronçonique et évaluée à l'échelle du ressort; mais pour l'état dynamique-type de l'air, jusqu'ici envisagé, à toute valeur de cette action correspond une vitesse déterminée de cet air : la vitesse d'allure se lira donc en face de l'extrémité S du stylet de l'appareil AI, à l'aide d'une graduation convenable par cercles concentriques ayant leur centre sur la rotule. En même temps, la ligne So donne la direction et le sens de l'allure.



Il convient de remarquer que la graduation donnant la vitesse changerait si l'état *dynamique* de l'air était différent de l'état type.



La tige de l'appareil AI, est, comme le vent relatif, toujours contenue dans le plan vertical axial, ou dans un plan parallèle.

A toute allure OV correspond un point S indiqué par le stylet de l'appareil AI; à la courbe AV correspond une autre courbe AI comprise entre les mêmes tangentes issues du centre de la rotule.

Nous verrons plus loin comment la courbe AI reste sous les yeux du manœuvrier placée par rapport à l'horizontale (ce qui nous paraît pour le moment sans difficultés, dans l'hypothèse où nous restons encore que l'axe du fuseau reste toujours horizontal; mais on verra par la suite que cette hypothèse est abandonnée, que cet axe se déplace, et le fuseau tourne autour de lui, il faudra donc que le tracé de la courbe AI ne participe pas à ces divers mouvements).

b) La disposition *dp* du propulseur est arbitraire : on a cependant vu jusqu'ici qu'elle devait donner des poussées toujours positives, dont les plus grandes correspondent aux allures les plus ascendantes, et les plus faibles aux allures les plus descendantes : parmi les lois purement arbitraires, que l'on peut se fixer pour la variation de *dp*, nous prendrons donc celle que l'on pourra obtenir en faisant actionner les tringles d'orientation des ailes du propulseur (s'il est hélicoïdal) par exemple, par l'appareil AI lui-même, de façon que ce soit la direction de sa tige extensible qui intervienne

convenablement dans cette action. Un servo-moteur convenable sera probablement nécessaire. Si on n'arrive pas à réaliser une connexion de l'appareil AI et du propulseur, qui remplisse la condition dite, il faudra manœuvrer les tringles à la main, d'après les indications de l'appareil AI : mais nous supposerons cette connexion possible, et dès lors le manœuvrier n'a plus à s'occuper de disposer le propulseur.

c) La question de l'horizontalité de l'axe du fuseau et celle de la disposition à donner à la queue seraient résolues comme suit : on abandonnerait, en réalité, la constance de l'horizontalité de l'axe, et on admettrait que cet axe est susceptible d'un certain déplacement angulaire — de peu d'amplitude toutefois pour ne pas gêner les voyageurs — de part et d'autre de l'horizontale, dans le plan axial vertical. L'angle d'inclinaison longitudinale sera désigné par λ. Imaginons en même temps que l'on puisse réaliser une pièce qui, en tout état de mouvement de l'aviateur, reste parfaitement verticale ; on conçoit qu'une certaine combinaison de l'inclinaison longitudinale λ avec la permanence de la verticalité de cette pièce puisse fournir un moyen de disposer la queue, l'angle Y qui définit chacune de ses dispositions *dq* étant ainsi une fonction de l'angle λ.

OG = L

Dès lors, les trois équations ordinaires détermineront λ et *va*. La force *va* étant réalisée par la disposition *da* donnée par le manœuvrier à l'aéroplane, l'inclinaison λ et sa conséquence, *dq* ou Y, s'établiront automatiquement, si, pour la valeur de λ qui donne l'équilibre des moments par rapport à G, cet équilibre est stable, c'est-à-dire si une légère variation de λ de part et d'autre de cette valeur, produit toujours un couple de rappel. Quelle est la condition nécessaire à cette stabilité ?

Les trois équations sont :

	POIDS TOTAL	ACTION DU VENT RELATIF SUR				
		L'AÉROPLANE	LE PROPULSEUR	LE FUSEAU	LA QUEUE	
Projection sur l'horizontale		$-X$	$+f_1(\lambda)\cos\lambda$	$+f_2(\lambda)$	$+\varphi(\lambda)$	= Soit zéro, soit la composante horizontale de la force nécessaire en G.
d° la verticale.	$-pt$	$+Y$	$+f_1(\lambda)\sin\lambda$	$+f_3(\lambda)$	$+\chi(\lambda)$	= Soit zéro, soit la composante verticale de la force nécessaire en G.
Moments par rapport à G..	»	$va.l.\sin(\alpha+\beta-\lambda)$	$-f_1(\lambda)$.	$+f_4(\lambda)$	$+\psi(\lambda)$	= Zéro.

vr étant donné en grandeur, position et sens, ces trois équations, avec les relations :

$$va = \sqrt{X^2 + Y^2} \qquad tg\,(\alpha + s) = \frac{X}{Y}$$

ne renferment plus que les 3 inconnues X, Y, et λ, les formes des fonctions f_1 f_2 f_3 f_4 φ, χ, ψ étant des données.

Pour que l'équilibre des moments soit stable, il faut que, λ devenant $\lambda + d\lambda$, $d\lambda$ étant positif, et le sens des moments positifs étant pris celui dans lequel $d\lambda$ est positif, la somme algébrique des variations des moments soit négative, pour qu'il y ait rappel. Si cela est, il y aura encore rappel pour $d\lambda$ négatif, la somme algébrique des variations des moments sera en effet alors positive.

Négligeons la petite force vf, et continuons à supposer, comme nous l'avons fait, en écrivant les équations, que vp est dirigée suivant l'axe du propulseur : va ne change pas par l'effet de $d\lambda$, car l'aéroplane est orienté stablement, et la vitesse V ne change pas au premier instant : la variation du moment de va est $- d\lambda . \, va . \, L . \cos (\alpha + \beta - \lambda)$; le moment $vp . \, L$ ne change pas ; la variation du moment de vq est $\frac{d\psi}{d\lambda} d\lambda$; il faut donc pour la stabilité de l'équilibre des moment que :

$$\frac{d\psi}{d\lambda} < va . \, L \cos (\alpha + \beta - \lambda)$$

$$\text{soit} \quad \frac{d\psi}{d\lambda} < va . \, oA$$

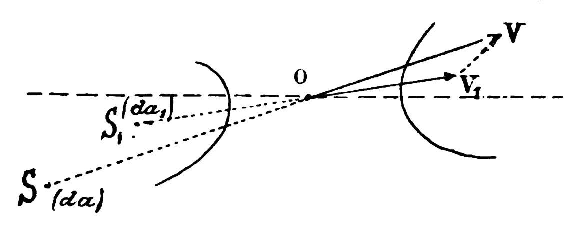
et cela dans tous les cas du produit $va . \, oA$.

Telle est la condition que devrait remplir la fonction de λ qui exprimerait le moment de vq, en vertu de la connexion établie entre la queue, le fuseau et une verticale matérielle; son expression serait seulement plus compliquée si on ne négligeait pas vf, et que vp ne fût pas selon l'axe du propulseur. En tout cas, la stabilité d'assiette longitudinale du fuseau tient seulement à la forme de la fonction ψ, en imposant une condition de grandeur à sa dérivée. La connexion susdite devra être étudiée en conséquence.

d) Dans les conditions qui viennent d'être exposées, le propulseur étant disposé par l'appareil AI lui-même, la queue l'étant en vertu de sa connexion avec une verticale matérielle et avec le fuseau, par suite d'un léger mouvement d'inclinaison longitudinale de celui-ci, le manœuvrier n'aura plus qu'à disposer l'aéroplane de façon qu'il reçoive du vent relatif l'action va, déterminée par les trois équations. La disposition *da* à donner à l'aéroplane qui sera inscrite en regard du point A indiqué par le stylet de l'appareil AI, sera celle qui produira le maintien de l'allure OV actuelle, correspondant à cette indication. C'est le moment de remarquer que la réalisation de la verticale matérielle, dont le besoin s'est déjà fait sentir à plusieurs reprises, permettra facilement de maintenir tracée, par rapport à l'horizontale, dans le plan axial vertical, la courbe AI, à l'intérieur de laquelle se meut le stylet de l'appareil AI. Ainsi donc, si le stylet indique un certain point S, et que le manœuvrier donne à l'aéroplane la disposition *da* d'équilibre inscrite en ce point, il y a équilibre de toutes les forces agissant sur l'aviateur, et l'allure actuelle OV se maintient uniforme et sans

changement. A cette disposition *da* correspond une certaine force *va*, les extrémités des lignes représentatives de toutes les forces *va* d'équilibre pour tous les points de l'intérieur de la courbe AI, occupant une portion seulement de la surface limitée par la courbe des forces, puisqu'on a vu qu'il fallait obtenir de l'aéroplane des forces qui peuvent être bien différentes de celles d'équilibre, quand on veut, au lieu de maintenir une allure, changer soit la vitesse soit la route, soit toutes les deux, le mouvement continuant cependant dans le même azimut vertical.

Ces forces de déséquilibre, pour changements d'allures, ne pourront pas, naturellement, être inscrites, comme celles d'équilibre, sur le tableau où est tracée la courbe AI; elles dépendent de la modification de mouvement à obtenir ; mais il est clair que les expériences et calculs qui auront précédé toute mise en service d'un type d'aéroplane, auront mené à la connaissance complète des effets mécaniques de tout changement de disposition de l'aéroplane, et que le manœuvrier saura, en toutes circonstances, approprier ce changement à l'effet à obtenir. L'allure primitive étant OV, et le stylet en S, l'aéroplane ayant la disposition *da* d'équilibre correspondante, il saura comment la modifier progressivement pour amener la pointe du stylet en S_1 par exemple, correspondant à une nouvelle allure OV_1 qu'il s'agit de maintenir ensuite constante.



A cet effet, le manœuvrier, quand le stylet sera en S_1, donnera instantanément à l'aéroplane la disposition da_1 d'équilibre pour le point S_1, et l'allure OV_1 continuera uniforme. Les manœuvres de déséquilibre auront en somme imprimé au centre de gravité général la vitesse VV_1.

On voit en un mot que le manœuvrier tirera de l'aéroplane par la disposition qu'il lui donnera, la force nécessaire pour l'état de mouvement de l'aviateur qu'il veut réaliser, comme un pianiste tire de son instrument le son voulu, suivant la touche attaquée. L'aéroplane est un véritable clavier de forces, dont la série d'effets doit être très exactement fixée et connue, et dont la manœuvre doit présenter un haut degré de précision, d'aisance et de rapidité.



VIII

Evolution en plan horizontal en air calme. Orientation de l'aéroplane Gouvernail à axe vertical

Nous allons d'abord étudier l'évolution (c'est-à-dire le cheminement de l'aviateur suivant une trajectoire ayant une projection horizontale courbe), dans le cas où le problème est le plus simple et où sa solution est parfaitement claire : c'est celui où l'aviateur se trouve, au moment où on commence l'évolution, en allure rectiligne horizontale uniforme, de vitesse quelconque d'ailleurs, et où l'évolution, que l'on se propose de réaliser, consiste à faire décrire au centre de gravité général une courbe située tout entière dans un plan horizontal, et en tout point de laquelle la tangente, ou vitesse de G, est parallèle à la position actuelle de l'axe du fuseau ; c'est-à-dire que le vent relatif sera constamment horizontal et compris dans le plan *ag* vertical.

Dans ce but, les manœuvres à faire ne devront introduire à aucun moment de force verticale, en dehors de celle nécessaire à la sustentation de l'appareil. La force horizontale normale au plan *ag* vertical et le moment de rotation autour de la verticale devront être connexes de façon que ce dernier fasse toujours tourner le système de l'angle correspondant à l'incurvation de la trajectoire de G produite par la première, pour que l'axe du fuseau reste toujours tangent à la trajectoire.

Dans cette supposition que, pendant le cours de l'évolution, l'axe du fuseau coïncide toujours avec le vent relatif, l'action du vent sur les ailes, dans leur position habituelle considérée jusqu'ici, et supposée conservée, ne peut donner aucune force normale à la trajectoire de G pour l'infléchir, et cette force normale ne pourrait provenir que de l'action du vent sur des gouvernails analogues à ceux des bâtiments naviguant sur l'eau ; mais il faut remarquer que l'addition à un aviateur de dimensions et de masse données se mouvant dans l'air, d'un gouvernail égal à celui dont on munirait un bâtiment de mêmes dimensions et masse se mouvant dans l'eau, ne pourrait faire évoluer cet aviateur, à beaucoup près, dans les mêmes conditions de rayon de giration, à vitesse égale, que si le phénomène se passait dans l'eau ; les forces mises en jeu et résultant ici uniquement de l'action sur

les surfaces en mouvement, de l'eau d'une part, de l'air de l'autre, sont d'ordres de grandeur bien différents pour ces deux fluides : car elles sont proportionelles à la densité du fluide agissant, et l'eau est, *grosso modo*, 800 fois plus lourde que l'air. Il faut sans doute considérer, par contre, que la vitesse usuelle de l'aviateur sera plusieurs fois celle d'un petit bâtiment, mais il s'en faut de beaucoup, finalement, que cette augmentation de vitesse compense la différence de densité : aussi, pour assurer l'évolution de l'aviateur dans des conditions pratiquement satisfaisantes, faut-il demander la force suffisante pour infléchir la trajectoire à une opération que nous appellerons l'orientation des ailes, que pratiquent du reste les oiseaux, et qui met en cause toute la surface des ailes même, pour obtenir l'évolution.

Cette orientation consiste en une rotation de l'ensemble des ailes autour de l'axe du fuseau d'un angle ω, dit angle d'orientation, cette rotation étant complétée par un déplacement d'ensemble et parallèlement à elles-mêmes, des ailes ayant ainsi tourné, opéré dans les conditions géométriques suivantes :

Coupons, avant orientation des ailes, le système en allure rectiligne horizontale par un plan vertical passant par le centre de gravité totale : le fuseau est coupé suivant le cercle de centre O, contenant le centre de gravité de l'aviateur sans aéroplane, et les deux ailes sont coupées suivant la ligne EE, leur poids individuel et l'action du vent sur elles étant appliqués au point O de cette ligne.

Après les deux mouvements (rotation et déplacement des ailes) indiqués plus haut, les deux ailes seront coupées suivant $E_1 E_1$ rencontrant EE en un point A ; le déplacement est défini par la condition que Ag sera perpendiculaire à $E_1 E_1$.

Le centre de gravité général est en G, par la composition du poids du

fuseau, qui est en g, avec celui des ailes, qui est en A. Supposons qu'à un moment donné, ce centre est animé d'une vitesse V, horizontale et parallèle à l'axe du fuseau, l'appareil tout entier étant au même moment animé d'une vitesse angulaire $\frac{d\theta}{dt}$ de rotation autour d'un axe vertical. Voyons les conditions à remplir pour qu'au bout d'un temps dt, le centre de gravité soit encore animé d'une vitesse V+dV horizontale et parallèle à la nouvelle position de l'axe du fuseau.

Les forces qui agissent sur le système sont :

— vp, action du vent relatif dirigé selon l'axe du fuseau, et de vitesse V opposée à celle de l'aviateur, sur le propulseur, disposé, comme toujours, par l'appareil AI lui-même.

— vf, action du vent relatif sur le fuseau.

Ces deux forces sont dirigées selon l'axe du fuseau.

— va : le vent relatif étant encore perpendiculaire à l'axe d'emmanchement E_1E_1 après orientation, va est situé dans le plan Ag perpendiculaire à E_1E_1 : si sa projection sur la verticale est égale à pt, la composante suivant Ag, se combinant avec pt, donnera lieu en G à une force horizontale égale à $pt\,tg\,\omega$, perpendiculaire à la vitesse V.

La force va aura une autre composante horizontale parallèle à l'axe du fuseau, et appliquée en A, qui, si elle est prise égale à $vp - vf$, donnera lieu, avec la force $vp - vf$ appliquée en O, à un couple de rotation autour de la verticale égale à $l\,tg\,\omega\,(vp - vf)$, l étant la distance og.

Il convient de remarquer de suite que, tant que ω est de même signe, ou si l'on veut, que l'orientation de l'aéroplane se fait du même côté, la force $pt\,tg\,\omega$ incurve de ce même côté la trajectoire de G, dont la courbure reste de même sens, et en même temps le moment $l\,tg\,\omega\,(vp-vf)$ reste également de même sens, et ne ferait, s'il était seul, qu'augmenter indéfiniment $\frac{d\theta}{dt}$; or, sans que le sens de la courbure de la trajectoire de G change, la vitesse $\frac{d\theta}{dt}$ nulle au commencement de l'évolution, doit se trouver nulle à la fin, d'où la nécessité d'introduire par un gouvernail compensateur, un couple horizontal convenablement antagoniste à chaque instant de celui qui vient de l'aéroplane orienté. En même temps, ce gouvernail ne doit introduire qu'une force horizontale en G, et aucune force verticale; on réalisera ces desiderata en donnant à ce gouvernail un axe vertical, et une forme ayant un axe horizontal de symétrie, situé à la hauteur verticale de G, hauteur qui d'ailleurs reste constante, quel que soit ω. Ce gouvernail introduit dès lors en G une force

vg horizontale, se décomposant dans le plan horizontal en vg_a, dirigée suivant l'axe du fuseau, et vg_{na}, normale à cet axe. Il introduit aussi un couple situé dans un plan horizontal, et que nous désignerons par Mg, celui provenant de l'aéroplane étant désigné par Ma.

Dans ces conditions, G se mouvra horizontalement, puisqu'il n'y a aucune force verticale, la variation dV de sa vitesse est donnée par :

$$m \frac{dV}{dt} = vg_a$$

vg_a ne pouvant être dirigé qu'en sens inverse de la vitesse, celle-ci ne peut que diminuer.

La force d'incurvation est $\frac{m V^2}{r} = pt\ tg\omega + vg_{na}$

r étant le rayon de courbure actuel.

Pour que la vitesse se maintienne parallèle à l'axe de fuseau, il faut que

$$rd\theta = Vdt \text{ ou } \frac{V}{r} = \frac{d\theta}{dt}$$

Il vient alors :

$$mV \frac{d\theta}{dt} = pt\ tg\omega + vg_{na}$$

relation où V, $\frac{d\theta}{dt}$, sont les données de l'état de mouvement actuel, et qui relie par conséquent vg_{na}, c'est-à-dire la position à donner au gouvernail, à l'orientation simultanée, et d'ailleurs arbitraire de l'aéroplane.

La nouvelle vitesse angulaire au bout de dt, est :

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{d^2\theta}{dt^2}\, dt, \text{ avec l'équation ordinaire :}$$

$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = ltg\omega\,(vp - vf) - M_g$ où tout est maintenant connu. Les nouvelles conditions de mouvement au bout du temps dt sont ainsi déterminées.

En résumé, le mouvement se fera dans les conditions désirées, l'orientation ω étant à chaque instant arbitraire, pourvu que les dispositions à donner à l'aéroplane et au gouvernail, *da* et *dg*, soient, à chaque instant aussi, connexes de cette orientation et des conditions actuelles de mouvement. L'aéroplane, orienté comme on l'a vu, doit assurer la sustentation complète, et donner le moment $l tg\omega\ (vp\text{-}vf)$: le gouvernail, installé comme on l'a vu, doit donner une force vg_{na} égale à $mV\ \frac{d\theta}{dt} - pt\ tg\omega$.

Il est à remarquer que la disposition *da* ne diffère de celle correspondant à l'équilibre en mouvement actuel droit maintenu uniforme, qu'en ce que la projection sur la verticale de *va* doit être égale à *pt*, ce qui multiplie simplement la composante perpendiculaire à l'horizontale par le facteur $\frac{1}{\cos\omega}$, qui reste longtemps très voisine de l'unité, pour des valeurs de ω pas trop grandes.

Pour évoluer dans les conditions indiquées, il faudra donc : 1° orienter l'aéroplane du côté où on veut tourner, l'angle d'orientation variant dans le temps suivant une loi arbitraire, dont dépend la rapidité de l'évolution ; 2° laisser l'appareil indicateur du vent relatif AI donner, comme d'ordinaire, au propulseur sa disposition ; 3° donner à chaque instant à l'aéroplane la disposition d'équilibre correspondante à l'indication présente de AI, à part cependant la modification destinée à assurer complètement la sustentation ; 4° manœuvrer le gouvernail qui est disposé de façon à ne donner que des forces au niveau du centre de gravité général, d'une façon connexe avec l'aéroplane à chaque instant, de manière que le vent relatif soit constamment suivant l'axe du fuseau horizontal.

Ce mécanisme de l'évolution montre que l'axe portant les ailes ne peut être, comme nous l'avons supposé provisoirement d'abord, invariablement fixé au fuseau : cet axe doit être installé de façon que son point milieu puisse parcourir le diamètre transversal horizontal du fuseau, et il doit porter une queue à angle droit astreinte à passer toujours par le centre de gravité *g*.

EXEMPLE NUMÉRIQUE

Dans l'intention de faire un calcul, nous supposerons que le gouvernail nécessaire est d'assez petites dimensions pour que la force vg_a ne puisse pas retarder sensiblement la vitesse de l'aviateur pendant l'évolution : dès lors, V, vp, vf, $vp - vf$ sont des constantes.

Appelons D la distance du gouvernail au centre de gravité.

$$M_g = vg_{na} \times D$$

Des deux équations :

$$m V \frac{d\theta}{dt} = pt \ tg\omega + vg_{na}$$

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = l tg\omega \, (vp - vf) - M_g$$

on peut tirer, dans les hypothèses actuelles :

$$tg\,\omega = \frac{d \dfrac{d\theta}{dt} + b \dfrac{d^2\theta}{dt^2}}{ad + bc} \qquad M_g = \frac{c \dfrac{d\theta}{dt} - a \dfrac{d^2\theta}{dt^2}}{ad + bc} \qquad \left\{ \begin{array}{l} a = \dfrac{g}{V} \\ b = \dfrac{1}{D.\,m.\,V} \\ c = \dfrac{l\,(vp - vf)}{I} \\ d = \dfrac{1}{I} \end{array} \right.$$

Nous prendrons un des aviateurs à aéroplane carré emmanché parrallèlement à son côté, envisagé dans le tableau de la page 36, et nous supposerons qu'il évolue à partir de l'allure de régime, qu'il conserve.

Les données choisies dans ce tableau sont :

$$b_r = 5^k \qquad \varphi_r = 12^k \qquad \left\{ \begin{array}{l} S_r = 141^{mq} \\ V_r = 67^m,8 \\ \alpha_r = 2^\circ\, 28' \end{array} \right.$$

Elles correspondent à $pf = 500^k$

on calcule facilement : $pa = 705^k$

$vp - vf = 165^k$

et prenant : $vf = 55^k$ d'après les hypothèses antérieures.

$vp = 220^k$

$pam = 2380^k$

$pt = 3585^k$

$m = 366$

supposons de plus : $l = 0^m,50$

$D = 6^m,00$

$I = m \times \overline{2,50}^2 = 2280$

on trouve alors : $a = 0,144$

$$b = \frac{1}{150,000}$$

$c = 0,036$

$d = 0,000438$

$$bc = \frac{24}{10^8}$$

$$ad = \frac{6307}{10^8}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{tg} \omega = 6,94 \dfrac{d\theta}{dt} + 0,105 \dfrac{d^2\theta}{dt^2} \\ M_g = 568 \left(\dfrac{d\theta}{dt} - 4 \dfrac{d^2\theta}{dt^2} \right) \end{array} \right.$$

On peut tracer une courbe de θ en fonction du temps, telle que un tour complet (360°) soit fait en 80 secondes, la plus grande valeur de ω étant de 42°, et la plus grande valeur de Mg 195 kilogrammètres : celle-ci serait réalisée par un gouvernail carré à côté vertical ayant seulement $0^{mq},167$,

soit 1/6e de mètre carré, placé à 6 mètres du centre de gravité, et faisant ce moment avec le plan *ag* l'angle de 35°20' que nous avons trouvé correspondre au maximum possible de la composante vg_{na}, donnée par un tel gouvernail. On trouve d'ailleurs qu'au commencement de l'évolution, le gouvernail doit ajouter son mouvement à celui provenant de l'aéroplane orienté, mais pendant une faible partie de la durée de l'évolution. Après quoi il doit passer de l'autre bord pour amortir la vitesse angulaire de l'aviateur.

La force vg_a, qui diminue la vitesse de l'aviateur, varie dans notre exemple de 0 à 23 kilos, ce qui légitime assez l'hypothèse de la constance de la vitesse.

IX

Étude de la stabilité des équilibres

Considérons un quelconque des divers mouvements uniformes que nous avons vu que l'aviateur pouvait prendre en air calme, toutes les forces agissant sur lui se faisant équilibre.

Nous supposerons le système écarté de sa position d'équilibre successivement par trois rotations autour d'axes passant par le centre de gravité général, le premier étant vertical, le second parallèle à l'axe du fuseau, le troisième parallèle à l'axe d'emmanchement. Aussitôt chaque rotation commencée, pour qu'il y ait stabilité de l'équilibre, il faut qu'un moment de rappel à la position initiale se produise immédiatement.

1° ROTATION AUTOUR D'UN AXE VERTICAL

Dans le premier moment qui suit la rotation, la vitesse absolue du système se maintient sans changement dans sa direction et sa grandeur, et la ligne représentant le vent relatif reste la même en l'espace absolu.

La pesanteur ne peut donner moment autour de l'axe avec lequel elle se confond, — quant à la poussée du propulseur, lequel est maintenant un peu différemment placé par rapport au vent relatif, nous admettrons qu'elle est encore dirigée suivant l'axe du propulseur et par conséquent qu'elle rencontre l'axe vertical de rotation : elle ne donne pas non plus moment.

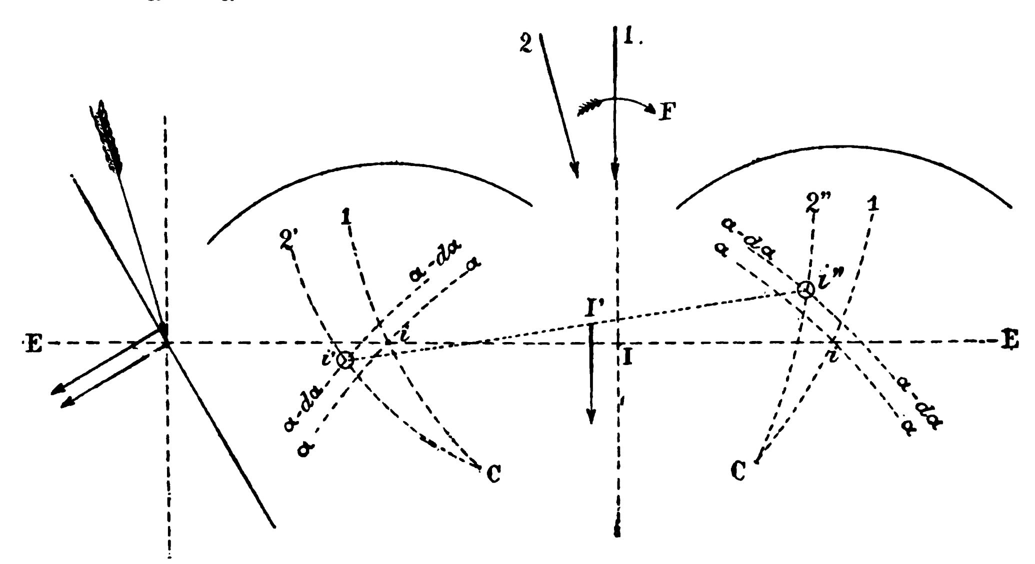
Seules peuvent donner moment les nouvelles actions du vent relatif sur le fuseau, la queue et l'aéroplane.

1° Action sur le fuseau : le vent relatif n'est plus dans le plan *ag* vertical. il frappe le fuseau un peu par côté ; les formes du fuseau, arrondies en avant de G, devront être prolongées en arrière de G et se rapprocher d'un plan vertical, comme cela a lieu pour le corps de la plupart des poissons ; le gouvernail d'évolution, et au besoin des plans verticaux analogues aux nageoires dorsale et anale des poissons, ajouteront utilement leur effet ;

l'action du vent sera ainsi reportée en arrière de G et donnera un moment tendant à ramener le fuseau dans sa position première.

2° Action sur l'aéroplane : supposons les deux ailes jumelées par une traverse qui fait qu'elles restent toutes deux dans un même plan.

Au premier moment, l'angle de l'aéroplane avec la verticale, qui est axe de rotation, reste sans changement : celui α qu'il faisait avec le vent relatif, devient $\alpha - d\alpha$.

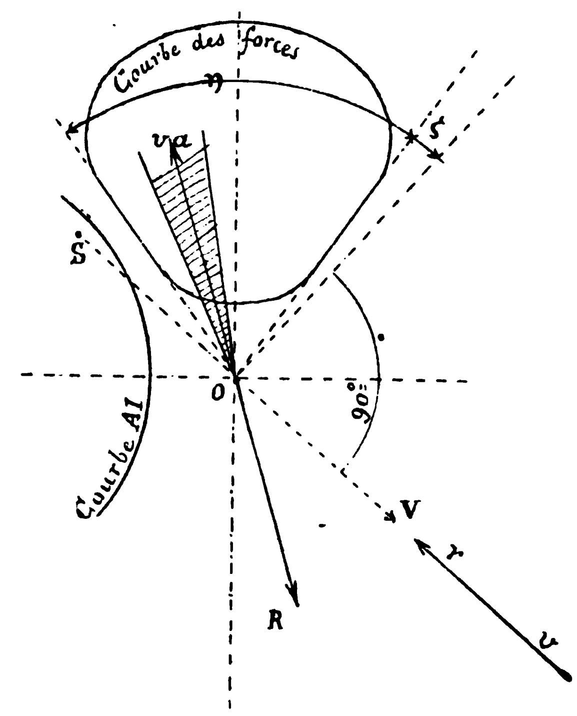


Dans la figure, EE est l'axe d'emmanchement, et l'aéroplane est rabattu autour de cet axe sur le plan du papier, supposé horizontal. La flèche F indique le sens de la rotation supposée autour de la verticale et qui a pour effet de remplacer l'azimut 1 primitif du vent relatif par l'azimut 2. Le point d'impact, avant la rotation, était sur chaque aile, en i, à la rencontre, sur l'axe d'emmanchement, de la courbe d'impact isoazimutale C1, et de la courbe d'impact isocline correspondant à l'angle α : après la rotation, il est, sur chaque aile, à la rencontre de la courbe d'impact correspondant à l'azimut 2, et de la courbe d'impact isocline correspondant à l'angle $\alpha - d\alpha$; or, les deux courbes isoclines des deux ailes restent symétriques, par rapport au plan axial vertical, tandis que les deux courbes isoazimutales C2' et C2", ne le sont plus : étant toutes deux du même côté (à gauche, dans la figure) des deux courbes symétriques C1. Les deux points d'impact nouveaux i' i'' sont tous deux rejetés à la gauche des points i, si les tangentes en i aux courbes isoclines vont se rencontrer sur l'axe de symétrie des ailes en avant de l'axe d'emmanchement, et d'autant plus qu'elles font un angle plus petit avec ce dernier axe : si, de plus, les ailes sont tracées de façon que l'action du vent,

n_x, grandisse quand on s'avance le long de la courbe isocline α, à partir de l'axe de symétrie, il y aura double raison pour que le nouveau point d'impact I' total qui est sur la ligne $i'i''$, soit à gauche de l'axe de symétrie.

Si maintenant la partie antérieure des ailes est au-dessus du plan horizontal, la projection horizontale de l'action du vent sera dirigée de façon à donner, étant appliquée en I', un moment de rappel de l'aviateur à sa position première, un moment de stabilité.

Ce serait un moment d'instabilité, si la partie antérieure de l'aéroplane plongeait au-dessous du plan horizontal : il faut donc qu'à aucune allure, même extrême descendante, d'équilibre ou de transition, il n'en soit ainsi. Pour toute indication S du stylet de l'appareil AI, correspondant à un certain état du mouvement actuel oV de l'aviateur, le faisceau qui s'étale de part et d'autre de la force va d'équilibre, et qui comprend les forces va de déséquilibre, permettant de passer de cet état de mouvement, dans certaines limites de rapidité, aux états voisins possibles, doit donc être *tout entier* à gauche de la verticale : c'est dire que la résultante oR des forces autres que celle que donne l'aéroplane agissant lors de l'équilibre, doit être à droite de cette verticale, et que, par conséquent, la poussée du propulseur, résultant de la disposition de celui-ci produite par l'appareil AI et connexe de l'indication actuelle de ce dernier, doit être toujours positive, et avoir une valeur suffisante, même pour les conditions qui rejettent le faisceau des forces va le plus près possible de la verticale, c'est-à-dire même pour la route la plus descendante possible en air calme.



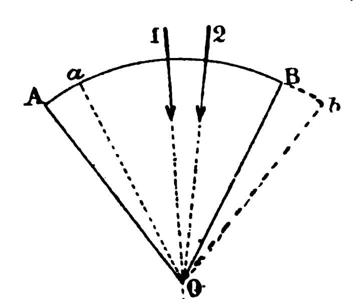
Ainsi, en ce qui concerne le rôle de l'aéroplane dans la stabilité des équilibres autour d'un axe vertical, cette stabilité dépend de son tracé : entre autres conditions, les courbes isoclines qui accompagnent plus ou moins parallèlement les contours extérieurs, devront être très inclinées sur

l'axe d'emmanchement, ce qui mène à avoir des ailes allongées dans le sens de cet axe, comme celles des oiseaux : cela est d'autant plus important que dans la stabilité envisagée, le vent n'intervient que par la composante horizontale de son action, toujours faible, l'aéroplane ne devant vraisemblablement jamais faire de grands angles avec le plan horizontal.

3° Action du vent relatif sur la queue après rotation.

Il y aura évidemment lieu de faire pour la queue une étude de tracé analogue à celle dont il vient d'être parlé pour l'aéroplane ; pour un même tracé, il est d'ailleurs possible que la nouvelle action du vent sur la queue entraînée avec le fuseau dans le mouvement de rotation supposé autour de la verticale, donne tantôt un moment de stabilité, tantôt un moment d'instabilité, selon l'angle de la queue avec le vent. Il faudra que le moment, s'il est d'instabilité, soit toujours primé par le moment de stabilité provenant de l'aéroplane et du fuseau.

La forme en éventail, AOB ordinaire à la queue des oiseaux, paraît devoir donner de très petits moments : quand l'azimut du vent passe de 1O, bissectrice de AOB, à 2 O, le point d'impact se déplace dans le sens de l'azimut probablement, mais en tout cas d'un angle bien moindre que lui : il ne serait en effet sur O 2 que pour le secteur aOb, égal à AOB, et ayant tourné de l'angle 1O2; or, pour passer de aOb à AOB, il faut ajouter l'action du vent sur AOa, et retrancher celle sur BOb, double raison pour rejeter le point impact du côté du premier azimut.

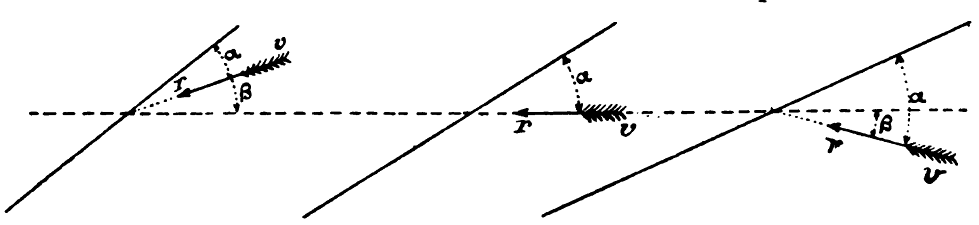


2° ROTATION AUTOUR DE L'AXE DU FUSEAU

Cette rotation n'intéresse pas les forces vp et vf ; elle intéresse les forces vq et va ; mais ici, la projection de va sur un plan perpendiculaire à l'axe de rotation a toujours une grande valeur, plus ou moins voisine du poids même de l'aviateur (l'aéroplane ne devant jamais faire un angle très grand avec l'axe du fuseau), et le moment qu'elle peut donner, a par suite, une importance tout à fait prédominante ; c'est donc de ce moment seul que nous nous occuperons.

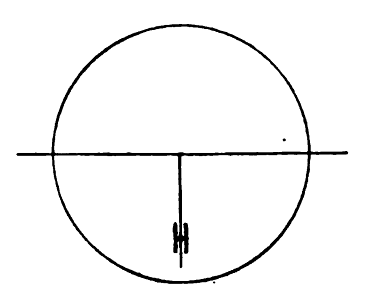
Or, une figure et un raisonnement analogues à ceux faits dans le cas de l'axe de rotation vertical amènent à conclure que les conditions de tracé

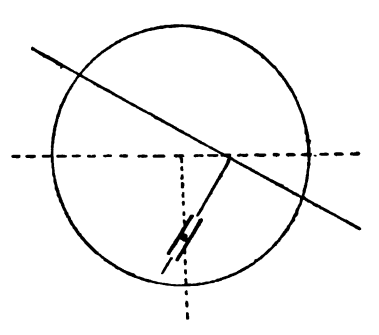
d'aéroplane, qui, dans ce dernier cas, assuraient la stabilité de l'équilibre des forces, assurent ici l'instabilité, c'est-à-dire la continuation du mouvement de rotation amorcé, tant que le vent relatif est entre l'aéroplane et l'axe du



fuseau, et assurent au contraire la stabilité, quand le vent relatif a passé de l'autre côté de l'axe du fuseau par rapport à l'aéroplane ; quand il coïncide avec cet axe (il est alors horizontal), il n'y a naturellement aucun moment produit par l'aéroplane.

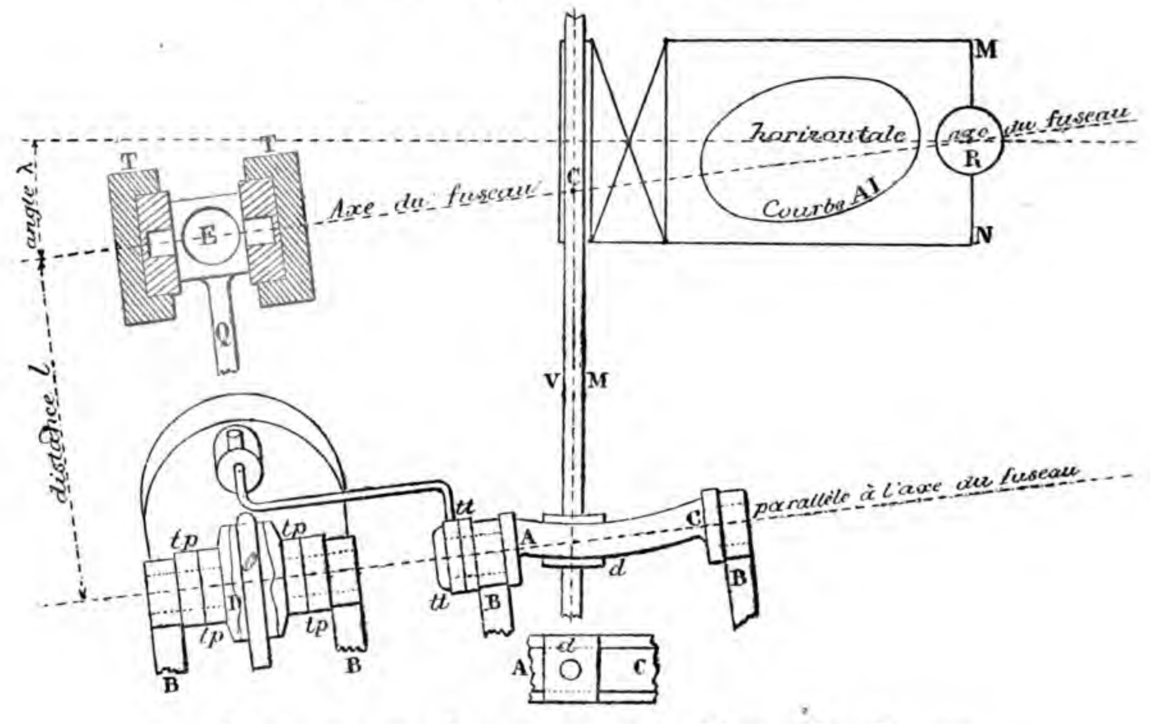
En résumé, l'aéroplane, tracé pour assurer la stabilité des équilibres autour d'un axe vertical, donnera, autour de l'axe du fuseau, instabilité pour les allures ascendantes, et stabilité pour les allures descendantes, résultat inacceptable. Il y a lieu de chercher un moyen d'avoir toujours un couple de rappel pour toute inclinaison du diamétral vertical du fuseau sur sa position initiale, indépendamment de la direction de la route ou du vent relatif.



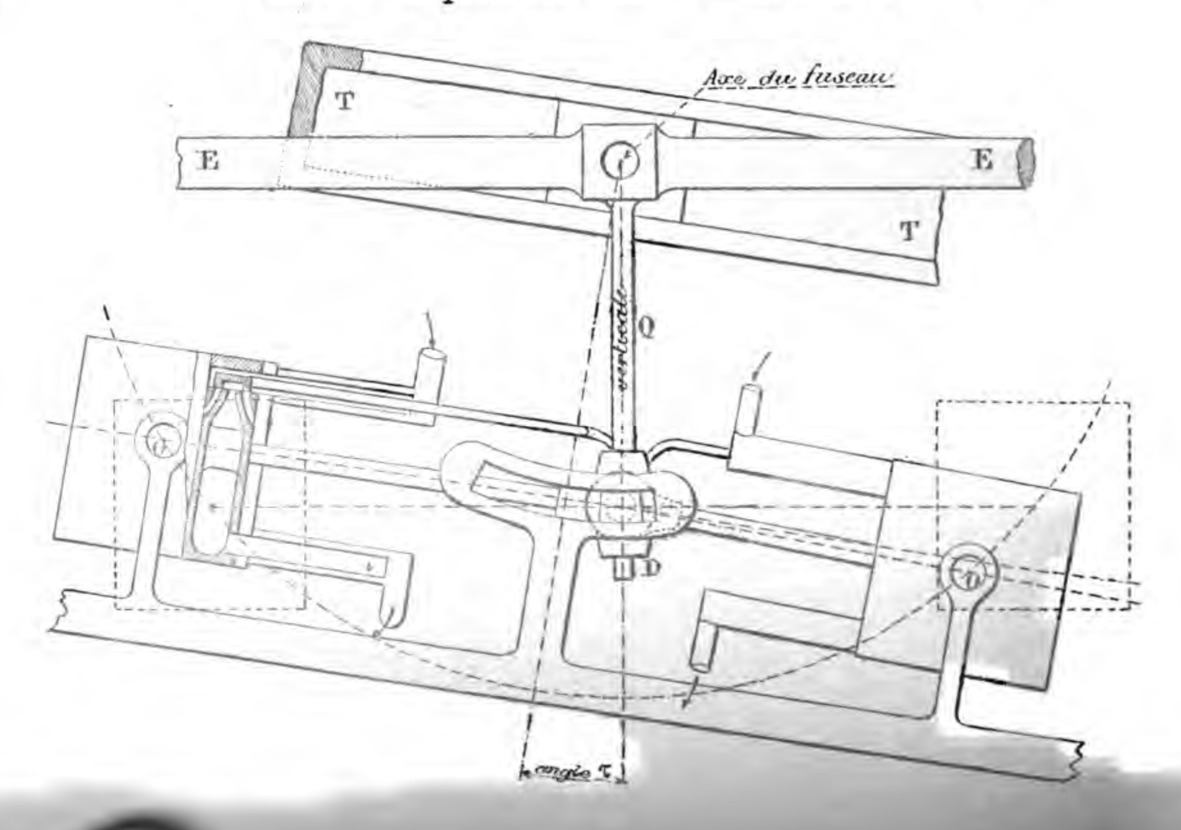


On peut y parvenir de la façon suivante : nous avons vu, lors de l'étude de l'évolution, que la pièce sur laquelle sont emmanchées les ailes doit être un T ; la branche horizontale porte les ailes, le point de croisement des deux branches décrit le diamètre horizontal du fuseau ; l'autre branche passe toujours par le centre de gravité de l'aviateur sans aéroplane ; la douille nécessaire à cette dernière condition tourne autour d'un axe parallèle à l'axe du fuseau et que nous avons considéré jusqu'ici comme fixé d'une façon invariable à ce fuseau ; au lieu de cela, il convient qu'il ne lui soit relié que par l'intermédiaire de servo-moteurs dont les rênes sont tenues par une verticale matérielle rencontrant l'axe du fuseau en un point fixe de celui-ci ; ces servo-moteurs étant, pour la clareté *schématique*, supposés du genre de ceux qui ont le tiroir intérieur au piston, c'est à ce dernier que sera fixé l'axe de la douille, tandis que le cylindre, dans lequel se meut le piston, sera fixé

Vue sur le plan axial vertical.



Vue sur un plan normal à l'axe du fuseau



Le plan ci-contre est purement schématique.

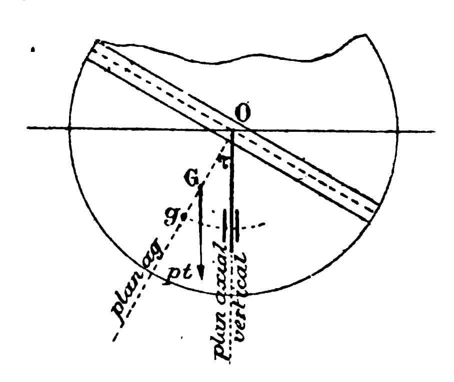
LÉGENDE

TT traverse liée au fuseau.
E axe d'emmanchement des ailes.
Q bras à angle droit porté par *E*.
D douille traversée par *Q* et portant des tourillons centrés sur une parallèle à l'axe du fuseau à la distance *l*.
tp têtes des tiges des pistons des servo-moteurs, embrassant les tourillons de *D*.
VM verticale matérielle restant verticale quel que soit l'état de mouvement de l'aviateur, et passant par un point déterminé *C* de l'axe du fuseau.
d douille traversée par *VM* et coulissant sur l'axe de cercle *AC*, de centre *C* sur l'axe du fuseau.
tt têtes des tiges des tiroirs, embrassant les tourillons de *AC*, centrés sur le même axe que ceux de la douille *D*.
B bâtis à rainures centrées sur l'axe du fuseau.
o centres d'oscillation des cylindres des servo-moteurs, sur bâtis fixés au fuseau.
R rotule de l'appareil indicateur du vent relatif.
MN verticale du centre de la rotule *R*.
Courbe *AI*, dans l'intérieur de laquelle se meut le stylet de l'appareil indicateur du vent relatif, et maintenue tracée par rapport à l'horizontale.

au fuseau ; la verticale matérielle passant par un point déterminé de l'axe du fuseau maintiendra le tiroir lorsque le système tendra à tourner en bloc autour de cet axe.

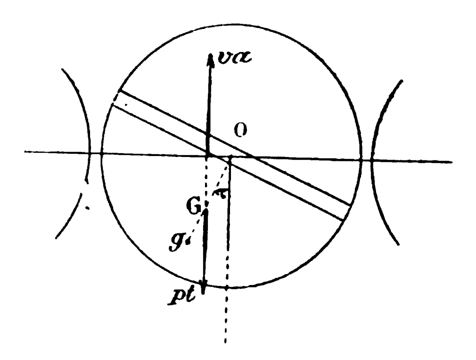
La branche inférieure du T porte-ailes passera toujours par le point situé à la fois dans le plan transversal perpendiculaire à l'axe du fuseau, dans laquelle elle se meut, et dans le plan vertical contenant l'axe du fuseau, ce point étant distant de cet axe de la quantité l ; ce point est la position du centre de gravité g (de l'aviateur sans son aéroplane), lorsque ce centre est dans le plan axial vertical, avec lequel se confond alors le plan ag.

Pour que la verticale matérielle tienne toujours les rênes, quel que soit l'angle λ que fait l'axe du fuseau avec l'horizontale, un de ses points doit décrire, comme le montre la planche, un arc circulaire ayant son centre au point de suspension de cette verticale et orienté dans le plan axial vertical.



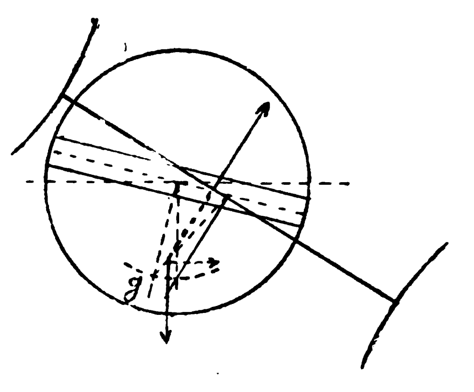
La verticale matérielle (voir plus loin l'étude de sa réalisation) tenant immobiles, par rapport au plan axial vertical, les tiroirs, les pistons et par suite la branche verticale du T porte-ailes, il s'en suit qu'à peine un mouvement du fuseau autour de son axe sera commencé, qu'il naîtra un couple de rappel (pl) L sin τ, τ étant l'angle d'inclinaison transversale et L étant oG.

Autre conséquence. Si, comme cela aura lieu dans la pratique, l'action du vent relatif sur l'aéroplane n'est pas exactement appliquée au sommet de T porte-ailes (cette action n'étant pas mathématiquement homogène sur toute la surface de l'aéroplane), l'aéroplane tendra à tourner autour de son centre de gravité individuel, qui, lui, est appliqué au sommet du T porte-ailes; mais grâce au jeu des servo-moteurs, il ne tournera pas, et c'est le fuseau qui tournera dans le sens voulu, jusqu'à ce que, en projection sur un plan perpendiculaire à l'axe du fuseau, le centre de gravité général G soit venu se mettre sur la projection de l'action du vent, si toutefois il n'y a pas d'autre moment de rotation autour de l'axe du fuseau — ou, s'il en existe un,





jusqu'à ce que le couple formé par le poids total et l'action *va*, projetés sur un plan perpendiculaire à l'axe du fuseau, l'équilibre ; de même dans le cas de l'aéroplane orienté pour évolution, dont l'étude sera reprise plus loin.



Pour diminuer le plus possible toutes circonstances égales d'ailleurs l'angle τ d'inclinaison transversale autour de l'axe du fuseau, il faut que la quantité $l = og$ soit la plus grande possible, et que le poids de l'aéroplane soit la plus petite fraction possible du poids total, ce qui rapproche le plus possible G de g ou L de l.

3° ROTATION AUTOUR DE L'AXE D'EMMANCHEMENT

On a déjà vu que l'aéroplane s'oriente automatiquement et stablement autour de cet axe, et on a étudié à la fin du § VII des manœuvres en air calme, les conditions de la stabilité d'équilibre de l'ensemble autour de cette direction : la fonction qui relie la disposition de la queue à la valeur de l'angle λ d'inclinaison longitudinale du fuseau par l'intermédiaire de la verticale matérielle, doit remplir certaines conditions.

X

Appareil réalisant une verticale matérielle

On a déjà trois fois reconnu le besoin d'avoir, quel que soit l'état de mouvement de l'aviateur aéroplane, une pièce restant mathématiquement verticale, non fixée invariablement au fuseau et ne prenant pas part à ses mouvements d'inclinaison tant longitudinale que transversale ; c'est d'abord lorsqu'il s'est agi d'assurer la stabilité des équilibres précisément autour des axes autres que l'axe vertical — autour de l'axe d'emmanchement par la manœuvre de la queue combinée avec une légère inclinaison longitudinale du fuseau — autour de l'axe du fuseau, par le mouvement du fuseau lui-même autour de cet axe — et aussi lorsque, pour le fonctionnement de l'appareil AI, base de manœuvre de l'aéroplane, on a reconnu la nécessité de maintenir, en face du stylet, la courbe AI tracée par rapport à l'horizontale dans le plan axial vertical.

Un appareil qui réaliserait cette verticale matérielle pourrait être le suivant, dont nous ne donnons que le principe, mais dont l'exécution serait possible.

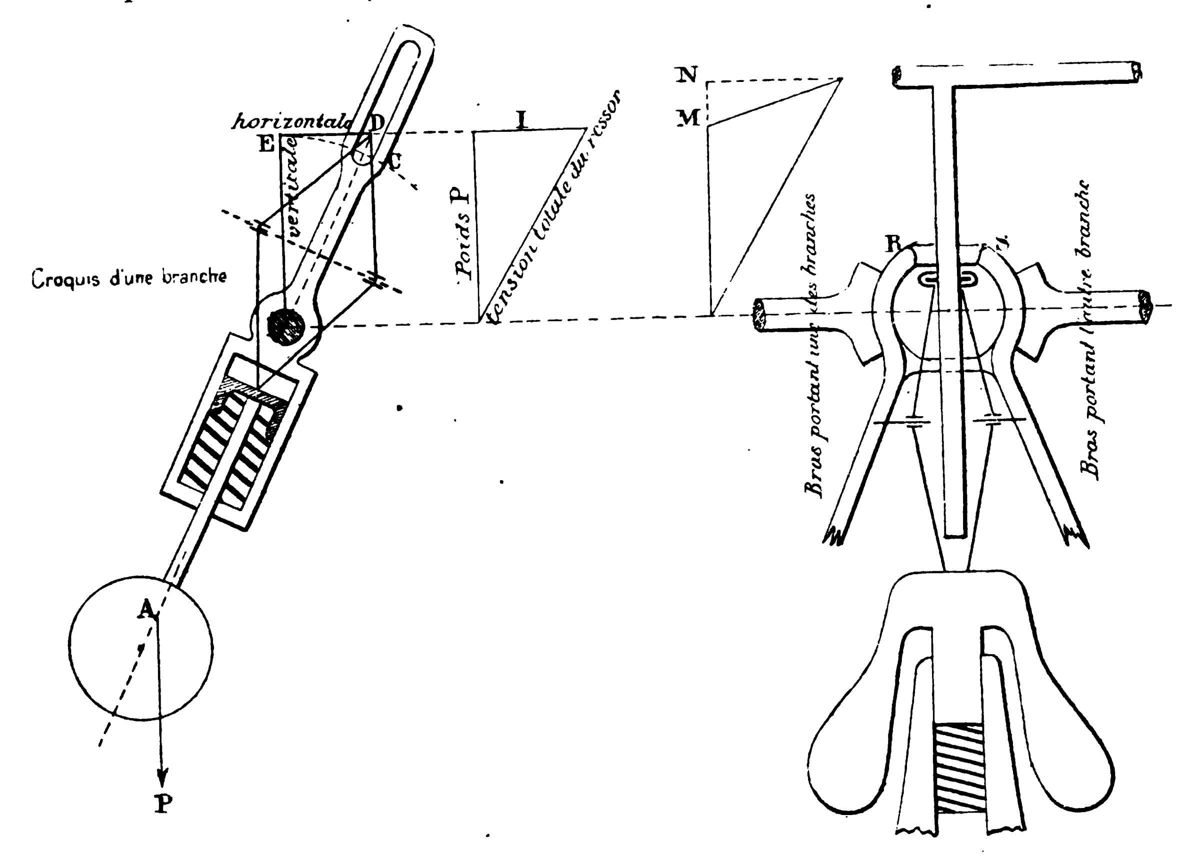
Autour d'une rotule sphérique RS, invariablement liée au fuseau et ayant son centre sur l'axe de celui-ci peut s'orienter dans tous les sens un système pendulaire, double, dont chaque branche est composée, comme le montre la figure, de deux parties entre lesquelles un ressor est interposé. Le centre de gravité de la partie supérieure est exactement en B, sur l'horizontale du centre de la rotule, et l'action du ressor coïncide avec la ligne droite joignant ce point B au centre de gravité A de la partie inférieure. Dans ces conditions, le poids P de la partie inférieure, sa force d'inertie I qui, seule appliquée, lui imprimerait son mouvement réel, et la tension du ressor dans l'appareil spontanément orienté, forment les trois côtés d'un triangle.

Supposons d'abord qu'il n'y ait pas d'accélération verticale de l'aviateur : le triangle est rectangle, les côtés de l'angle droit étant vertical et horizontal.

Soit que chaque branche de la pièce montée sur la rotule porte un prolongement BC situé dans la direction AB et représentant à l'échelle du ressort le poids P, et présente à la suite de ce prolongement, dans la même direction, une coulisse dans laquelle un bouton, actionné par le ressort, se déplace



d'une longueur égale à la flexion de ce ressort, supplémentaire à celle correspondant à P, et en sens contraire. On aura en BD en position et aussi en grandeur à l'échelle du ressort, l'hypoténuse du triangle des forces ; de sorte qu'un angle droit, ayant un de ses côtés BE = BC représentant P à l'échelle du ressort, et appuyé par son extrémité au centre de la rotule, et son autre côté ED astreint à passer par le bouton mobile, se placera de façon que EB soit vertical, et ED horizontal.



S'il y a une accélération verticale de l'aviateur correspondant à une force MN sur la masse $\frac{P}{g}$, la longueur de la branche verticale comptée depuis la rotule devra être EB modifié algébriquement de la longueur MN représentant à l'échelle du ressort la force actuellement nécessaire pour que la masse $\frac{P}{g}$ suive le mouvement vertical de l'aviateur : il faut donc qu'un point quelconque de la tige verticale, par exemple, celui qui est au centre de la rotule lorsqu'il n'y a pas d'accélération verticale, subisse un déplacement

vertical correspondant à cette accélération, quand il s'en produit ; on obtiendra cet effet en fixant au fuseau, supposé sans inclinaison ni longitudinale ni transversale, un support creux vertical dont l'axe passe par le centre de la rotule ; on y logera un ressort absolument identique à celui de l'appareil pendulaire, et par dessus la queue d'une pièce d'un poids égal précisément à P ; le mouvement de ce ressort, qui n'aura lieu que quand il y aura accélération verticale, sera égal à MN, et transmis changé de sens au point B. Il faut, bien entendu, pour que cela reste suffisamment exact, que les inclinaisons longitudinale et transversale du fuseau, et du support qui lui est lié, restent toujours faibles.

La verticale matérielle tourne sur elle-même suivant l'azimut que le mouvement de l'aviateur fait prendre à la masse pendulaire : c'est donc une pièce qui fait douille autour d'elle et qui est maintenue dans le diamétral vertical qui tient constamment les rênes des servo-moteurs. La tenue de ces rênes doit exiger des efforts très faibles, et en tous cas, égaux et directement opposés, autant que possible, pour être sans action sur la verticale matérielle, qui doit être équilibrée autour du point où elle est actionnée par le ressort placé au-dessous de la rotule, lequel lui communique son mouvement vertical : ce point est le centre de la rotule quand il n'y a pas d'accélération verticale de l'aviateur.

XI

Évolution en air calme dans le cas le plus général

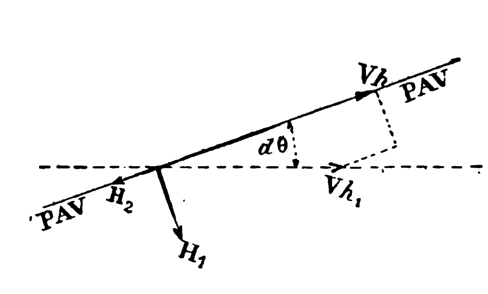
Nous n'avons étudié jusqu'ici l'évolution en air calme que dans un cas particulier : l'aviateur, étant en allure horizontale quelconque parallèle à l'axe du fuseau, évolue dans un plan horizontal, sa vitesse restant à chaque instant parallèle à l'axe du fuseau.

Si l'on part d'une allure de l'aviateur quelconque, pouvant être oblique sur l'horizontale, aussitôt qu'on oriente l'aéroplane, le vent relatif peut ne pas être perpendiculaire à l'axe d'emmanchement dans sa nouvelle position, et le point d'impact être différent du sommet du T porte-ailes, il y a alors en vertu de la connexion décrite lors de l'étude de la stabilité des équilibres, entre l'aéroplane et le fuseau, une inclinaison possible du fuseau, autour de son axe. Le fuseau est ainsi incliné et longitudinalement et transversalement, entraînant avec lui la queue, le gouvernail et la traverse que décrit le sommet du T porte-ailes. Supposons que nous fassions la même manœuvre que dans le cas simple de l'évolution horizontale, sauf cependant à ne nous astreindre à la modification de la configuration de l'aéroplane, qui devait, dans ce cas, assurer la sustentation complète, que dans une mesure arbitraire, en rapport avec l'état de mouvement vertical que l'on veut laisser prendre à l'aviateur. Nous trouverons qu'à chaque instant, au lieu d'avoir, comme dans le cas simple susdit, uniquement une force horizontale appliquée au centre de gravité, et un seul moment de rotation autour de l'axe vertical, nous aurons, comme dans les circonstances les plus générales, au centre de gravité, une force de direction quelconque, et des moments autour des trois axes.

La composante de la force totale en G qui est parallèle au plan axial vertical, ne fait que modifier la route et la ligne de vent relatif, supposées toujours situées dans le plan axial vertical ; la composante perpendiculaire à ce plan incurvera la trajectoire de G en dehors de ce plan.

Quant aux trois moments, celui autour de la verticale fera tourner l'appareil, et les deux autres feront simplement varier son inclinaison tant longitudinale que transversale.

Voyons quelles sont les conditions à remplir, pour que le mouvement reste toujours dans le plan axial vertical. Soit PAV ce plan qui tourne de $d\theta$ dans le temps dt : la composante horizontale V_h de la vitesse y contenue, se modifie en direction par l'action des forces H_1 et H_2, composantes de la projection sur le plan horizontal de la force totale agissant au centre de gravité : elles impriment respectivement, chacune selon sa direction, les vitesses $g \frac{H_1}{pt} dt$ et $g \frac{H_2}{pt} dt$; pour que la vitesse nouvelle V_{h1} au bord du temps dt, soit dans le plan axial vertical actuel, il faut qu'on ait :



$$\operatorname{tg} d\theta = d\theta = \frac{g \frac{H_1}{pt} dt}{V_h - \frac{g H_2}{pt} dt} = \text{à la limite } \frac{g \frac{H_1}{pt} dt}{V_h}$$

$$\text{d'où la condition cherchée : } m V_h \frac{d\theta}{dt} = H_1$$

La force H_1, soit la composante normale au plan axial vertical de la force totale agissant au centre de gravité général, est donc déterminée par les conditions actuelles du mouvement : V_h, $\frac{d\theta}{dt}$: d'où une position déterminée à donner au gouvernail pour que H_1 ait cette valeur.

De cette position donnée au gouvernail, résultera la valeur du moment total M_v de rotation du système autour de la verticale, valeur qui interviendra pour fixer la nouvelle vitesse angulaire au bord du temps dt ; on a en effet :

$$I \frac{d}{dt} \frac{d\theta}{dt} = M_v$$

la nouvelle vitesse angulaire sera donc $\frac{d\theta}{dt} + d \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\theta}{dt} + \frac{M_v}{I} dt$,

les nouvelles conditions du mouvement en projection horizontal V_{h1} et $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_1$ sont donc connues et ainsi de suite.

En résumé, pour évoluer en prenant pour point de départ un état de mouvement quelconque de l'aviateur, restant dans un même plan vertical qui est le plan axial vertical du fuseau, il faut : 1° orienter l'aéroplane, à l'instar des oiseaux du côté où on veut tourner, l'angle d'orientation, ou angle décrit par la branche primitivement verticale du T porte-ailes, variant dans le temps suivant une loi arbitraire, d'où dépend la rapidité de l'évolution, 2° laisser l'appareil AI indicateur du vent relatif donner, comme d'ordinaire, au propulseur sa disposition, et laisser la verticale matérielle régler comme toujours, l'angle λ et l'assiette longitudinale à chaque instant, ainsi que l'angle τ et l'assiette transversale, 3° donner à chaque instant à l'aéroplane la disposition d'équilibre correspondant à la disposition présente de AI, en la modifiant arbitrairement de façon toutefois à n'agir que sur la composante verticale de la force va, selon le mouvement vertical que l'on veut laisser prendre à l'aviateur, 4° manœuvrer le gouvernail (disposé de façon à ne donner que des forces au niveau du centre de gravité général, dans le cas simple de l'évolution horizontale), de manière que le vent relatif, qui peut varier ici constamment en direction et intensité, soit toujours contenu dans le plan axial vertical du fuseau, c'est-à-dire que la tige de l'appareil AI devra toujours rencontrer la verticale matérielle.

Il faudra être assuré, quand on amorcera une évolution, que les états de mouvement successifs, par lesquels passera l'aviateur, ne sortiront pas de la courbe caractéristique AV de l'aviateur ; ce qui limitera, en pratique, à une portion de la surface que cette courbe enferme, les états de mouvement à partir desquels on pourra évoluer.

XII

Départ et atterrissage, en air calme.

Le départ et l'atterrissage de l'aviateur, constitué comme on l'a vu jusqu'à présent, ne peuvent avoir lieu que dans des stations spécialement outillées dans ces buts : — pour le départ, il suffira de communiquer mécaniquement à l'aviateur une vitesse, horizontale par exemple, suffisante, tout en mettant en marche le moteur et déployant l'aéroplane en suivant les indications de l'appareil AI, jusqu'a ce que l'aviateur, sustenté en vertu de sa vitesse, puisse être abandonné à lui-même — pour l'atterrissage, il sera parfaitement possible à des stations outillées en conséquence d'arrêter mécaniquement l'aviateur, en faisant, *par exemple*, qu'il se suspende, au passage, à un pendeur convenablement élastique, attaché soit à un ballon captif, soit à un point fixe élevé, réalisé d'une autre façon quelconque.

Mais, en dehors de ces stations organisées, le départ et l'atterrissage sont impossibles sans le battement d'ailes, que possèdent les oiseaux ; nous avons déjà vu comment ces ailes sont constituées pour ne frapper l'air que dans un des mouvements de va-et-vient du battement, et le laisser échapper dans l'autre : le battement rapide des ailes, présentées de façon à faire de grands angles avec le vent, en créant une vitesse relative du vent très grande, augmente à la fois l'action verticale de sustentation de l'air, et son action horizontale ralentissant la vitesse : l'oiseau arrête donc par ce battement sa progression horizontale tout en maintenant sa sustentation par l'impulsion des forces verticales créées pendant le mouvement de l'aile frappant l'air : la vitesse du vent relatif nécessaire à la sustentation est créée ici principalement par le mouvement propre des ailes qui battent, tandis que la vitesse de translation d'ensemble de l'oiseau n'y a qu'une part de plus en plus faible jusqu'à être nulle. L'oiseau peut donc par le battement s'arrêter horizontalement d'ensemble tout en ne tombant que du nécessaire pour arriver à terre et y arrivant doucement.

Faudra-t-il en venir au battement pour les aéroplanes ? Il semble, du

moins à première vue, qu'il doive en résulter de grandes difficultés et complications dans l'exécution; puis cela exigera un supplément de poids. Bref, c'est là un très gros problème que nous n'abordons pas, et dont il nous paraît même naturel de différer l'étude jusqu'à ce que l'on possède réellement un aviateur sans battement d'ailes pouvant faire un trajet entre deux stations organisées; ce n'est qu'alors que l'intérêt de résoudre ce problème sera certain, et que l'on aura toutes les données nécessaires pour le bien poser, et le résoudre en toute connaissance de causes, s'il est soluble toutefois.

TROISIÈME PARTIE

ÉTUDE DU MOUVEMENT D'UN AVIATEUR-AÉROPLANE
DANS L'ATMOSPHÈRE, TELLE QU'ELLE EST RÉELLEMENT

RÉSUMÉ

TROISIÈME PARTIE

Étude du mouvement d'un aviateur-aéroplane dans l'atmosphère, telle qu'elle est réellement.

Passons à l'étude du mouvement de l'aviateur en air agité, soit quand il y a du vent absolu.

Nous empruntons au Compte-Rendu de la 29e session de l'Association française pour l'avancement des sciences, en 1900, les passages suivants d'une intéressante conférence sur la Navigation Aérienne faite par M. Rodolphe Soreau, ingénieur, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, passages donnant sur le vent absolu qui peut règner dans l'Océan aérien des renseignements scientifiques importants :

« Onze mille heures d'observations anémométriques faites à 28 mètres » au-dessus du plateau de Chatillon ont permis au colonel Renard de dresser » une table de probabilité de la vitesse du vent dans nos régions. Voici un » extrait de cette table en chiffres ronds :

Vitesse du vent en mètres par seconde	Probabilité d'avoir un vent inférieur à la vitesse donnée
2m 50	10 °/o
5 00	32
7 00	50
10 00	70
20 00	96
30 00	99 5

» On voit qu'il y a 50 chances sur 100 pour que la vitesse du vent soit » inférieure à 7 mètres par seconde. Ce résultat concorde assez bien avec les » observations de M. Angot au sommet de la Tour Eiffel. . . . .

. . . .

» Les courants ne sont pas réguliers, non seulement l'atmosphère est » sillonnée par des courants de vitesses et de directions différentes — comme

7

» on peut le voir rien qu'en regardant les nuages — mais encore, dans un » courant déterminé, la vitesse et la direction sont soumises à des variations » perpétuelles qui oscillent autour de la vitesse et de la direction générales.

» Les vents un peu forts sont toujours accompagnés de rafales, mais il » se produit aussi alors que l'air semble tout-à-fait calme, et c'est ce qui » explique le continuel flottement des drapeaux. Les observations de » M. Langley avec des anémomètres dont l'inertie était aussi réduite que » possible, ont montré que ces variations, d'amplitude assez large, ont une » très grande fréquence. La figure ci-jointe donne le diagramme d'une de ces » observations ; la vitesse moyenne du courant est de 16 mètres par seconde, » et le nombre des oscillations enregistrées dépasse 20 par 10 minutes.

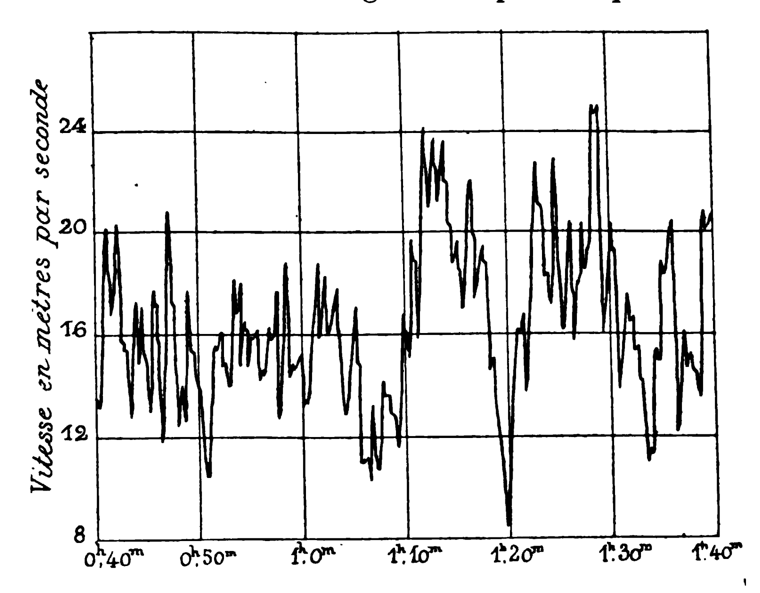


Diagramme des variations de la vitesse du vent près du sol

» Mais, dira-t-on, de pareilles variations sont dues aux obstacles terrestres » et ne se produisent que dans la couche qui vient lécher la surface du sol. » Assurément, elles sont plus considérables dans les bas-fonds que dans les » surfaces élevées, et même, près de terre, en raison de la divergence des » obstacles, elles sont extrêmement confuses : mais elles existent aussi à d'assez » grandes hauteurs, soit qu'elles proviennent de la répercussion des troubles » de l'air près du sol, soit qu'elles résultent de la mobilité des nombreuses » causes thermiques qui engendrent le vent. Elles prennent alors un rythme » plus régulier, et forment en quelque sorte d'invisibles vagues aériennes : » telle est la conclusion que j'ai été conduit à formuler à la suite des obser-



» vations faites à la Tour Eiffel, observations corroborées par une étude appro-
» fondie du vol à voile, dont les étranges particularités n'avaient pas été
» rationnellement expliquées jusqu'ici. »

On voit par là que l'aviateur en mouvement rencontrera des vents absolus dont la direction et la vitesse varieront d'un point à l'autre de la trajectoire ; leur direction pouvant être oblique sur le plan horizontal, comme cela existe en réalité, croyons-nous, sans savoir toutefois dans quelles limites.

Nous admettrons, pour le moment du moins, qu'en tout point de la trajectoire de l'aviateur, le vent absolu est homogène, c'est-à-dire composé de molécules d'air ayant *simultanément* des vitesses égales et parallèles, avant que l'approche de l'aviateur ne commence à les modifier, toutes ces molécules ont alors des vitesses relatives à l'aviateur égales et parallèles, avant que le mouvement de celui-ci ne les trouble ; on a ainsi un vent relatif uniforme, comme dans le cas des expériences de la première partie, ou des mouvements en air calme de la deuxième partie : si, de plus, le lit de ce vent relatif se trouve toujours situé dans le plan axial vertical, les forces agissant sur le système (pesanteur et action du vent relatif sur les différentes parties de l'aviateur) se retrouvent dès lors exactement les mêmes, par certain mouvement en air agité, que par un certain autre, dit correspondant, en air calme, ce qui ramène l'étude du mouvement en air agité à celle déjà faite dans la deuxième partie, du mouvement en air calme.

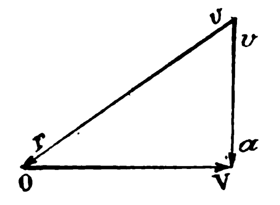
MANŒUVRES PAR VENT ABSOLU

Cherchons d'abord à maintenir l'aviateur dans un mouvement rectiligne uniforme, par vent absolu variable : c'est là ce qu'on aura à faire presque constamment dans la pratique.

Soit qu'à un moment donné, l'aviateur ait la vitesse absolue GV, et que le vent absolu soit *va*, de direction quelconque dans l'espace. Le vent relatif qui agit sur les différentes parties de l'aviateur est $\overline{va}-\overline{VG}$, soit *vr*, de direction également quelconque. Supposons que l'aviateur ait son plan axial vertical placé de façon à contenir *vr*, et que le manœuvrier donne à l'aéroplane la disposition *da* qu'il faudrait lui donner pour qu'en air calme, l'aviateur ait un mouvement rectiligne uniforme égal et directement opposé à *vr* : dès lors, toutes les forces agissant sur l'aviateur se font équilibre, et le mouvement de son centre de gravité continuera avec la même vitesse GV. Un instant après, le vent absolu est devenu $v_1 a_1$ et le vent relatif $v_1 r_1$, un peu différent de *vr* en grandeur, direction, azimut vertical : or, nous avons

vu, lors de l'étude de la stabilité des équilibres, que lorsque le lit vertical du vent relatif et le plan axial vertical de l'aviateur différaient, il se produisait, moyennant certaines conditions (de tracé des ailes entre autres) supposées remplies, un couple autour de l'axe vertical tendant à rapprocher ces deux plans : en d'autres termes, l'aviateur construit pour la stabilité de ses équilibres autour de l'axe vertical, viendra mettre automatiquement son plan axial vertical dans le lit du vent relatif; il sera ardent, comme on dit pour les bâtiments à voiles. La coïncidence du plan axial vertical avec le lit du vent relatif, dont la position varie d'une façon fortuite, tend donc constamment à se produire, et se produit effectivement exactement si l'azimut vertical du vent relatif change suffisamment lentement; dans le cas contraire, il faudra sans doute, à cause de l'inertie de rotation de l'aviateur autour de la verticale, aider à cette coïncidence par une manœuvre du gouvernail, qui pourra introduire, il est vrai, de petites forces perpendiculaires au diamétral vertical appliquées au centre de gravité général ; mais à part ces légères perturbations, qui ne se produiront qu'à la longue, on peut dire que l'aviateur, en air agité, est susceptible de parcourir des trajectoires rectilignes à une vitesse uniforme, son plan axial vertical oscillant de façon à contenir toujours le vent relatif, pourvu que le manœuvrier, suivant des yeux les indications de l'appareil AI, donne toujours à l'aéroplane la disposition d'équilibre correspondant à l'indication actuelle de cet appareil : la manœuvre de cette disposition, doit être, on le voit, rapide, précise et sûre, ce qui implique qu'elle soit aussi très facile, parce qu'elle pourrait être par certains états de l'atmosphère, tout au moins, sinon incessante, du moins très fréquente.

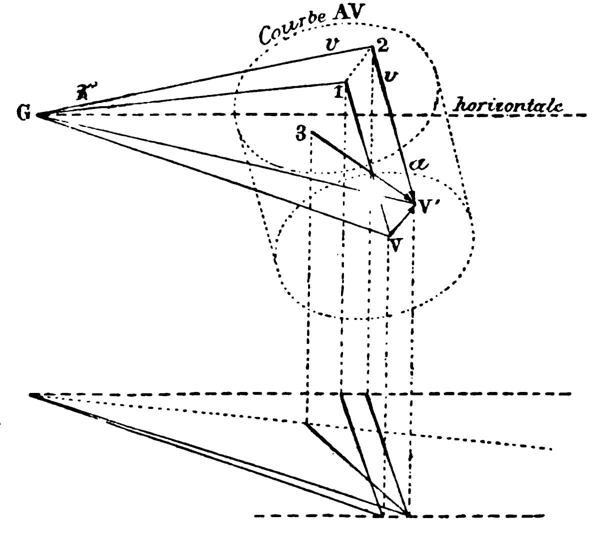
Il convient de remarquer qu'en réalité, dans le mouvement de l'aviateur volant au-dessus de la terre, qui tourne autour de son axe et se meut dans l'espace, les quantités que nous avons appelées vent absolu et vitesse absolue de l'aviateur, sont en réalité relatives à la terre en mouvement; dans le triangle ayant pour côtés va, vr, oV, va est le vent relevé par des appareils fixés à la terre et entraînés avec elle, oV est la vitesse de l'aviateur sensible pour les observateurs entraînés aussi par la Terre, le mouvement d'entraînement du vent



et de l'aviateur étant unique (celui de la Terre), *vr* est bien le vent relatif que reçoit l'aviateur dans l'espace.

Supposons qu'un long parcours, coupant plusieurs parallèles de latitude différente soit effectué en n'ayant les yeux que sur l'appareil AI porté par l'aviateur, la manœuvre établissant constamment l'équilibre des forces, et sans regarder jamais le sol. Ce qui resterait constant dans ce cas, ce serait non pas rigoureusement *o*V, mais bien la vitesse véritablement absolue de l'aviateur, résultante de *o*V et d'une vitesse d'entraînement par la terre en réalité variable en grandeur et direction à mesure que l'aviateur progresse, mais très légèrement, (c'est ainsi que, pour ne considérer que la grandeur de la vitesse circonférencielle du mouvement de rotation de la terre, à la latitude de 45°, il faut avancer de 20 kilomètres environ le long du méridien pour que la vitesse circonférencielle autour de la ligne des pôles varie de 1 mètre). A ce mode de se diriger uniquement d'après l'appareil AI, correspondrait une trajectoire de l'aviateur relative à la terre, complètement déterminée par la direction de ses premiers éléments à partir d'un point donné, et cette direction doit nécessairement être choisie dans chaque cas, si on veut que la trajectoire passe par un second point donné ; mais ce n'est point ainsi, évidemment, que l'on voyagera, et en pratique, c'est en regardant constamment le sol, que l'on guidera l'aviateur, quitte à changer la route toutes les fois que cela sera nécessaire pour maintenir la trajectoire voulue relative à la Terre ; aussi conviendra-t-il que le sol reste, autant que possible, constamment visible : encore qu'il sera commode, si la vue en manque passagèrement, de pouvoir poursuivre sans changement, par l'équilibre des forces, le mouvement qu'avait l'aviateur au dernier moment de visibilité du sol.

Etudions maintenant le changement d'allure de l'aviateur par vent absolu, et supposons d'abord que celui-ci, représenté par la ligne *va*, soit constant : soit GV la vitesse absolue de l'aviateur, et 1G le vent relatif, que nous supposerons contenu dans le plan axial vertical du fuseau. Soit que l'on se propose d'augmenter la vitesse actuelle et de suivre une route plus ascendante ou moins descendante que GV.



Les mêmes manœuvres, qui en air calme, font passer l'aviateur de l'allure G1 à une allure G2, plus rapide et plus ascendante que G1, et qui ont, pour effet final, *au bout d'un certain temps*, d'imprimer au centre de gravité totale l'élément correctif de vitesse 1-2, changeront ici la vitesse GV en GV', composée de GV et de l'élément VV' égal et parallèle à 1-2 ; la vitesse primitive sera bien ainsi modifiée dans les sens voulus, mais de plus, on voit que l'azimut vertical du mouvement a pu légèrement varier, d'autant moins d'ailleurs que le vent absolu est plus petit par rapport à la vitesse de l'aviateur. A ce point de vue, les conditions pratiques semblent devoir être satisfaisantes. On a vu, en effet, au commencement de cette troisième partie, qu'il y a 70 chances sur 100 d'avoir un vent absolu inférieur à 10 mètres, presque toutes chances de l'avoir inférieur à 20 mètres, tandis que nous pensons probable que l'aviateur aura 40, 50, 60 mètres peut-être de vitesse en air calme. Si le changement d'allure modifiait trop sensiblement l'azimut vertical du mouvement, il y aurait lieu de corriger cet effet par un léger mouvement d'évolution. L'azimut ne serait pas d'ailleurs modifié, si les éléments 1-2 et VV' étaient verticaux.

Le manœuvrier, qui a les yeux sur le stylet de l'appareil AI, et suit ainsi le déplacement de sa pointe, verrait, dans le cas supposé du vent absolu constant, cette pointe indiquer par son déplacement, les changements apportés par la manœuvre à la grandeur et à la position par rapport à l'horizontale de la ligne de vent relatif 1G, changement en rapport et concordance avec ceux de la vitesse absolue de l'aviateur ; au point de vue de la perception plus rapide du changement d'obliquité de la route sur le plan horizontal, il serait sans doute préférable qu'il suivît des yeux le mouvement d'un stylet occupant toujours une position parfaitement symétrique par rapport au centre de la rotule de l'appareil AI, de celui que nous avons envisagé jusqu'ici, mouvement facile à réaliser mécaniquement par l'appareil lui-même.

Tant que le vent absolu reste constant, les mouvements géométriquement ajoutés par les manœuvres au mouvement primitif de l'aviateur, étant contenus dans le plan vertical axial primitif, qui contient le vent relatif initial, ce même plan continuera à contenir les vents relatifs variables qui succéderont à ce dernier.

Mais, en pratique, le vent absolu est variable ; quand la vitesse est GV', supposons qu'il change et devienne v'a' ou 3V' : ce changement a deux conséquences : 1° le vent relatif 3 G n'est plus dans le plan axial vertical du fuseau : mais nous savons qu'alors l'aviateur — avec l'aide éventuelle du gouvernail, si besoin est — déplace automatiquement ce plan axial vertical de façon à ce qu'il contienne le nouveau vent relatif ; 2° le stylet de l'appareil AI marque dans l'intérieur de la courbe AI le point correspon-

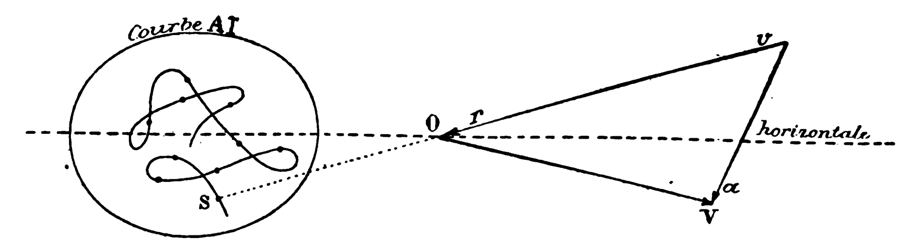
dant à l'allure G3 en air calme, et non du tout celui correspondant à l'allure G2; et ainsi le stylet de l'appareil AI ne donne plus aucune indication en corrélation avec le changement d'allure et de route; son déplacement a trois facteurs; deux à la volonté du manœuvrier, à savoir la manœuvre faite qui consiste en une certaine disposition donnée à l'aéroplane et le temps pendant lequel cette manœuvre subsiste ; le troisième, indépendant de sa volonté, et fortuit, la variation pendant ce temps du vent absolu. Mais, à tout instant, le manœuvrier, connaissant et le vent relatif indiqué par le stylet, et la disposition actuelle de l'aéroplane qui le reçoit, sait quelle est la force appliquée au centre de gravité qui résulte de ces conditions, et par conséquent quel élément de changement d'allure et de route en résulte, pendant l'élément de temps que subsistent celles-ci.

Le temps étant décomposé en petits instants pendant chacun desquels le vent absolu peut être considéré comme constant, la vitesse absolue se modifiera géométriquement pendant chacun deux d'un petit élément, tel que VV', parallèle à l'azimut actuel du plan axial vertical, ce qui modifie à la fois la grandeur de cette vitesse, sa position par rapport au plan horizontal, et son azimut vertical.

Ainsi, en mouvement quelconque par vent absolu continuellement variable, c'est-à-dire dans les conditions pratiques, le plan axial vertical change d'azimut automatiquement, avec l'aide éventuelle du gouvernail, pour contenir toujours le vent relatif; le manœuvrier, connaissant le vent relatif à tout moment, établira à tout instant, aussi, la disposition d'aéroplane devant produire au centre de gravité la force voulue pour les changements de route et d'allure qu'il a en vue; ces changements seront accompagnés en général d'un changement d'azimut vertical de la route, que rendra sensible la vue des objets situés sur la terre, et qui pourra, s'il y a lieu, être corrigé par une légère évolution. — La conservation d'un mouvement rectiligne uniforme n'est qu'un cas particulier où la force à produire au centre de gravité est nulle, il n'y a plus alors de changement d'azimut de la route, si l'on néglige les très petits effets du gouvernail, le plan axial vertical seul ondule au gré du vent relatif.

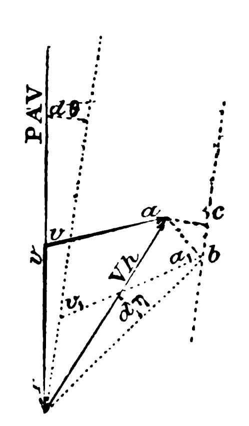
Remarquons qu'un aviateur peut être un excellent explorateur de l'atmosphère. Soit qu'il fasse un trajet connu, avec une vitesse connue ou relevée de terre, et à une date déterminée; faisons en sorte que le stylet de l'appareil AI inscrive dans l'intérieur de la courbe AI la suite de ses positions, formant une ligne compliquée quelconque sur laquelle on pointera le temps toutes les cinq minutes par exemple : si, aux mêmes instants, on relève l'azimut du plan axial vertical par rapport à celui de la route, on

aura, pour chaque observation, tous les éléments, pour construire en position dans l'espace, le triangle des trois vitesses *va*, *vr* et *oV* : de l'indication OS de l'appareil AI, on déduit le vent relatif *vr* en grandeur, sens et



position dans son azimut vertical : on connaît en grandeur, position dans l'espace et sens la vitesse absolue oV, et on connaît l'angle de son azimut vertical avec celui du vent relatif *vr*, ce qui place celui-ci dans l'espace : on déduit dès lors *va*, c'est-à-dire le vent absolu en grandeur, sens et position dans l'espace. L'aviateur explorateur servira donc à constater qu'en tel endroit, à telle date, régnait tel vent absolu complètement déterminé en grandeur, position dans l'espace et sens, et un seul de ses trajets fournira un grand nombre de constatations de cette sorte.

Pour évoluer dans l'air agité, les manœuvres seront absolument les mêmes qu'en air calme, dans le cas le plus général; on orientera et déploiera l'aéroplane comme il a été dit, et on manœuvrera le gouvernail de façon à maintenir le vent relatif dans le plan axial vertical, (la tige de l'appareil AI restant en contact avec la verticale matérielle).



Pour obtenir ce dernier résultat, il faut remplir une condition analogue à celle que nous avons trouvée en air calme.

Soit à un moment donné PAV le plan axial vertical du fuseau, $\frac{d\theta}{dt}$ sa vitesse angulaire autour de la verticale, V_h la projection horizontale de la vitesse absolue, *va* celle du vent absolu : au bout du temps *dt*, l'extrémité de V_h doit s'être déplacée d'une quantité *ab* par exemple permettant d'insérer la projection horizontale *v, a,* du nouveau vent absolu — soit à la limite *va* — entre le point *b* et PAV ayant tourné de $d\theta$; cela détermine la composante de *ab* normale à PAV, c'est-à-dire *ac* qui a pour expression à la limite $vr\, d\theta$, *vr* étant ici la projection horizontale du vent relatif : c'est dire que la composante perpendiculaire au plan axial vertical de la

force totale agissant au centre de gravité[1] doit résulter à chaque instant des conditions actuelles géométriques et cinématiques du mouvement, et aussi du vent absolu actuel, car à la limite v_1 a_1 est égal à va. Cette condition détermine à chaque instant la position du gouvernail, d'où la nouvelle vitesse horizontale V_{h_1} d'où aussi le moment total de rotation autour de la verticale, et par conséquent la nouvelle vitesse angulaire au bout du temps dt. — Quant à la force verticale en G, et aux moments autour des axes autre que le vertical, ils ont leur action indépendante pour faire monter ou descendre l'aviateur, et pour déterminer à chaque instant les angles λ et τ d'inclinaison longitudinale et transversale du fuseau. Il convient de remarquer que l'angle d'évolution véritable est $d\eta$ qui peut être différent de $d\theta$.

Quant au départ et à l'atterrissage en air agité, ils auront lieu comme en air calme, en des stations spécialement outillées; avec cette seule différence que le plan axial vertical peut, par suite de l'existence d'un vent absolu, être différent du plan vertical de lancement ou d'arrêt, contenant les premiers ou derniers éléments de la trajectoire. Certaines précautions d'ordre mécanique seront à prendre de ce fait.

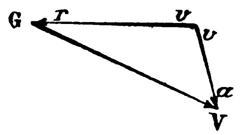
VENTS ABSOLUS NON MANIABLES

L'aviateur aura évidemment intérêt à ce que la variation du vent absolu soit régulièrement périodique, et il devra naviguer assez loin de terre pour que la vague de l'Océan aérien soit, sur son parcours, régulièrement rythmée et non perturbée par le voisinage trop grand des accidents du terrain, sans cependant s'éloigner assez du sol, pour risquer de perdre la vue des objets situés à terre, vue qui, seule, peut donner conscience de la route absolue suivie.

Mais si de telles conditions de navigation sont le plus ordinaires, il pourra aussi arriver, de temps à autre, à l'aviateur, de rencontrer des vents absolus changeant brusquement ou très rapidement, des vents tournant ou variant sans règle ; il faut se défier, dans ce cas, qu'il arrive ceci, c'est que, l'effet de la variation du vent absolu sur le déplacement du stylet de l'appareil AI le fasse sortir de la courbe AI, quelqu'effort que fasse le manœuvrier, en agissant sur la vitesse absolue de l'aviateur, pour le maintenir à l'intérieur de cette courbe ; l'effet à ce point de vue de la variation

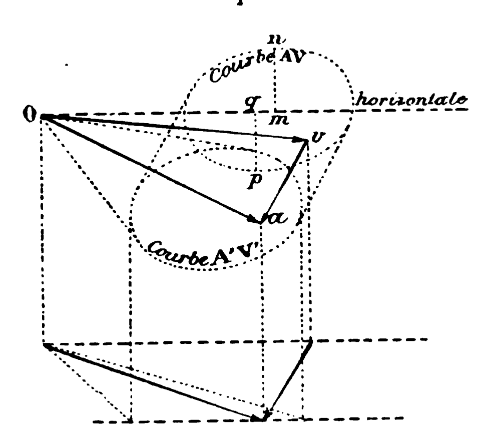
(1) Son expression est $m\frac{d\theta}{dt}vr$, vr désignant ici la projection horizontale du vent relatif ; en air calme, cette expression devient bien celle que nous avons trouvée dans ce cas : $m\, V_h\frac{d\theta}{dt}$

de va, dont il n'est pas maître, peut l'emporter sur celui de la variation de GV, dont il est maître dans de certaines limites par la manœuvre qu'il fait



de l'aéroplane, et seulement encore avec le concours du temps nécessaire à l'effet des forces ainsi mises au centre de gravité. Le stylet peut ainsi être promené, en dehors de la courbe AI, quoi que fasse le manœuvrier, au gré capricieux du vent absolu changeant et le vent relatif peut atteindre ainsi des valeurs ou des directions dangereuses, par exemple, devenir trop fort pour que l'aéroplane résiste, ou au contraire assez faible pour que l'aviateur doive tomber, étant insuffisamment soutenu, et dès lors suivre des routes descendantes par lesquelles la stabilité autour de la verticale n'existe plus, et soit changée en instabilité. Il sera donc important de bien étudier expérimentalement les mouvements réels de l'atmosphère ainsi troublée (tourbillons, sautes de vent) pour tracer l'aéroplane de façon à réduire au minimum le nombre de cas où il ne pourra pas manier les vents rapidement et irrégulièrement variables qu'il rencontrera.

Il est une autre sorte de vents qui peuvent être dangereux pour l'aviateur : ce sont des vents trop obliques sur l'horizontale, autrement dit, dont la vitesse a une composante verticale trop grande.



En effet, pour un vent absolu donné va, au faisceau des allures uniformes possibles en air calme, que forment les lignes, telles que ov, allant à l'intérieur de la courbe AV, correspond un faisceau de routes absolues possibles, telles que oa, que forment les lignes allant à l'intérieur de la courbe A' V', qui est la courbe AV ayant glissé parallèlement à elle-même suivant va : or, si le vent absolu est tel, qu'aucune des routes absolues possibles ne soit horizontale, que le faisceau o A' V', ne comprenne que des routes toutes ascendantes ou toutes descendantes, l'aviateur aux prises avec le vent ne pourra que monter ou descendre ; s'il descend, et pour peu que le vent soit persistant sur sa route, il aura bientôt fait de venir choquer le sol, ou de s'en rapprocher trop pour sa sécurité, s'il ne trouve pas à temps des vents avoisinant le sol, lui permettant d'infléchir sa trajectoire vers l'horizontale. S'il ne peut que monter, l'inconvénient sera sans doute moindre ; mais, avant qu'il ne retrouve un vent lui permettant une allure horizontale, il

peut perdre de vue la terre et ne plus pouvoir ensuite se diriger sûrement. En supposant encore évitées ces conséquences extrêmes, ces vents ont tout au moins l'inconvénient de faire zigzaguer l'aviateur, et d'allonger sa route. Or l'aviateur a pour but d'aller rapidement par le plus court chemin, d'un point à un autre du sol, par une route de direction moyenne générale parallèle au sol, horizontale ou légèrement inclinée sur l'horizontale, selon la différence d'altitude des points de départ et d'arrivée ; il est donc désirable qu'il ne trouve pas trop de ces vents qui le font zigzaguer, et qu'au contraire tous les vents qu'il rencontre sur son trajet rectiligne lui permettent sa route moyenne horizontale ou voisine de l'horizontale, avec une certaine marge pour pouvoir monter ou descendre un peu.

Pour avoir tout au moins une route horizontale possible, il faut que les vents absolus aient une vitesse dont la composante verticale descendante soit inférieure à *mn*, ou ascendante, à *pq*. De tels vents seront d'autant plus nombreux, et ceux non maniables d'autant plus rares, que *mn* et *pq* seront plus grands : il est donc avantageux, à ce point de vue, que les vitesses *ov* en air calme soient les plus grandes possibles et que leur faisceau soit le plus étalé possible de part et d'autre de l'horizontale.



Enfin, l'aviateur devra également éviter les vents debout, soufflant en tempête, dont la vitesse peut approcher de la sienne propre et qui, même l'aéroplane déployé au mieux comme pour l'allure maximum en air calme, ne laisseront à l'aviateur qu'une vitesse réduite inadmissible ; ces vents ont d'ailleurs l'inconvénient de la soudaineté et de la violence de leurs changements, qui pourra peut-être déconcerter la manœuvre de l'aéroplane pour tenir la petite vitesse, si aisée qu'elle doive être.

Tout ce qui précède montre qu'il y a, par atmosphère troublée, nécessité de la sonder de terre, au devant d'un aviateur, sur sa trajectoire prévue et de prévenir celui-ci à temps pour qu'il puisse s'arrêter ou rebrousser chemin avant d'avoir atteint les points dangereux, de l'existence en ces points de vents absolus qui seraient non maniables ou dangereux pour lui, soit qu'ils présentent des sautes ou des variations trop brusques, soit qu'ils soient debout et trop violents, soit que la composante verticale de leur vitesse soit trop grande.

EFFET DE LA VARIATION DE LÉTAT DYNAMIQUE DE L'AIR ET DE CELLE DU POIDS TOTAL

Il y aura, dans la pratique, certaines modifications aux conditions théoriques dans lesquelles nous avons supposé que se faisait le mouvement.

Les unes sont essentiellement passagères et variables de sens ; par exemple : le vent relatif, que nous avons supposé toujours homogène, ne le sera vraisemblablement jamais d'une façon mathématique sur les grandes ailes qu'aura l'aviateur-aéroplane. Il y aura, à tout moment donné du temps, des irrégularités de vent dont le caractère sera d'être constamment variables de sens en fonction du temps, croyons-nous, mais toujours de faible intensité par rapport à l'action totale du vent relatif sur l'aéroplane. On peut citer aussi le déplacement capricieux des voyageurs embarqués, déplacement qui, d'ailleurs, ne pourra être que très réduit.

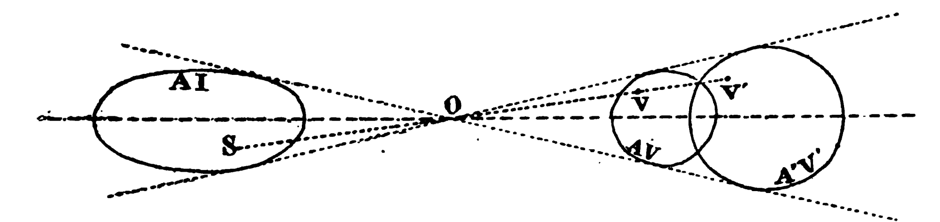
Par suite de leur peu d'intensité, de l'oscillation de leur sens, ces perturbations donneront au centre de gravité général de faibles forces et autour de lui de faibles moments, agissant pendant de faibles durées pour être remplacées par d'autres, également faibles, passagères et de sens différent : d'où de légers mouvements de lacet, de légères variations des angles λ et τ, de légères ondulations du mouvement général.

Mais il est d'autres perturbations importantes par suite de leur plus longue durée ou même de leur complète continuité.

I. Dans une traversée, l'air rencontré ne sera pas, en tous les points du trajet, identique à lui-même comme pression, température, humidité, en un mot, comme état dynamique, selon l'expression que nous avons déjà employée ; l'état dynamique de l'air composant un vent relatif donné vr, variera donc entre certaines limites, par rapport à un état dynamique moyen, envisagé comme base dans le calcul et la construction de l'aviateur, et avec cet état, variera, toutes circonstances égales d'ailleurs, l'action du vent relatif sur les surfaces frappées. Il convient d'ajouter que, d'une part, les différences d'action mécanique de l'air entre ces limites ne paraissent pas devoir être considérables dans la pratique par rapport à l'action de l'air moyen, et que, d'autre part, l'aviateur ne passera d'un air dans un autre différent d'état, que graduellement et non brusquement.

Soit que dans l'air d'état dynamique moyen, calme, le mouvement de l'aviateur, avec équilibre des forces, soit représenté par la vitesse oV, aboutissant à l'intérieur de la courbe AV relative à cet état, le stylet de l'appareil AI marquant le point S à l'intérieur de la courbe AI : supposons, pour fixer les idées, qu'on raréfie l'air autour de l'aviateur ; la pesanteur reste pratiquement la même, tandis que les autres forces extérieures, actions du vent relatif

Vo sur les différentes parties de l'aviateur, y compris l'appareil AI lui-même, qui gardent les dispositions *da*, *dp*, *dq*, *dg*, *di*, qu'elles avaient dans l'air primitif, changent et diminuent. Il n'y a donc plus équilibre dans l'air raréfié. Mais supposons qu'en même temps qu'on raréfie l'air, on augmente par compensation la vitesse oV de l'aviateur, et qu'on la porte à oV', telle que du fait



de cette variation de vitesse, l'action du vent relatif $V'o$ (air raréfié) sur chaque surface frappée, augmente autant qu'elle avait diminué par suite de la raréfaction de l'air, ce qui nécessite seulement que la loi de variation de cette action en fonction de l'état dynamique de l'air soit unique pour toutes ces surfaces, ce qui parait bien évident; dès lors, les actions du vent relatif Vo fait d'air raréfié sur les surfaces frappées, (y compris celles de l'appareil AI, mais non compris celle du propulseur, dont nous allons parler), ayant gardé leurs dispositions *da*, *dq*, *dg*, *di* de tout à l'heure, sont absolument les mêmes que celles du vent Vo en air initial, et l'appareil AI marquera encore le même point S.

La pesanteur ne variant pas, il y aura encore équilibre dans l'air raréfié, à condition que la poussée du propulseur, (qui a la même disposition *dp* que dans l'air primitif, puisqu'elle ne dépend que de la position du point S) reste la même qu'en air primitif. Or, la compensation par la variation de la vitesse du vent relatif, de celle de l'état de l'air donnant ce vent, qui s'applique simultanément à toutes les surfaces frappées par lui (aéroplane, fuseau, queue, gouvernail, appareil AI), ne s'applique pas nécessairement au propulseur, qui seul a, sous l'action de son moteur, un mouvement propre par rapport à ce vent relatif.

Il faudra donc que le propulseur soit étudié de façon que, ayant une disposition donnée, correspondant à une position S de l'extrémité du stylet de l'appareil AI, il donne sous l'action de son moteur, la même poussée, dans tous les états dynamiques de l'air que peut rencontrer l'aviateur, le vent relatif que donne cet air étant, pour chacun de ces états, animé de la vitesse compensatrice sur les surfaces exposées à ce vent, immobiles par rapport à lui. Peut-être ce résultat nécessitera-t-il que la disposition *dp*, ne soit pas uniquement donnée au propulseur par l'appareil AI, comme nous l'avons admis jusqu'à présent, mais qu'elle soit suceptible d'un réglage

supplémentaire, donné par un manœuvrier d'après l'état de l'air traversé, accusé par des appareils appropriés.

Mais il convient de remarquer qu'il faut de plus que, par le seul fait que l'air change d'état, le propulseur soit acheminé automatiquement, sous l'action de son moteur, à l'allure, maintenant la poussée constante ; c'est bien ce qui arrive pour le propulseur hélice, qui, rencontrant comme dans le cas présent, un fluide moins résistant, se mettra à tourner tout d'abord, plus vite, jusqu'à retrouver la même résistance tranversale correspondant à la puissance de son moteur, d'où la même poussée possible.

Sous la réserve que le propulseur remplisse bien la condition mécanique énoncée plus haut, et étant donné que son moteur l'y acheminera toujours, le manœuvrier de l'aéroplane n'aura pas à s'inquiéter de l'état dynamique de l'air traversé, la courbe AV change avec cet état, mais non la courbe AI, sur laquelle il a les yeux fixés, pour y suivre à son intérieur le déplacement de l'extrémité du stylet de l'appareil AI. Ce qui changerait seulement, c'est la graduation qui serait à superposer à la courbe AI, pour indiquer la vitesse du vent relatif du moment ; or, cette graduation n'a pas d'intérêt pratique pour la navigation même. Mais, fait essentiel, la correspondance entre la manœuvre à faire pour produire ou conserver tel ou tel mouvement de l'aviateur, et l'indication de l'appareil AI, ne change pas avec l'état dynamique de l'air. La manœuvre, en un mot, est indépendante de cet état.

II. Les variations de l'autre force extérieure agissant sur le système, la pesanteur, sont malheureusement sans compensation possible ; tout changement du poids total entraîne nécessairement un réglage de la correspondance entre la manœuvre à faire et l'indication de l'appareil AI, ce qui est une complication assujétissante et délicate, surtout si on considère que certaines variations de poids peuvent être continues, comme celle provenant de la consommation des matières portant l'énergie, si elles sont pesantes (eau, pétrole, etc.).

Aussi tout changement de poids nous paraît-il devoir être soigneusement évité à bord de l'aviateur ; c'est ainsi qu'on devra avoir les moyens de se débarrasser immédiatement de toute quantité d'eau ou de neige tombant sur l'aviateur. C'est ainsi aussi que l'accumulateur électrique d'énergie, léger, remplacé par un identique à chaque station de réapprovisionnement, nous paraît être le seul moteur possible à employer. Enfin, à l'embarquement, il y aura toujours à régler à une valeur fixe le poids total embarqué (voyageurs et colis).

On aura également soin, pour les mêmes raisons, que le centre de gravité général reste toujours au même point de l'aviateur.

RÉSUMÉ

La présente étude ne résout pas la question de savoir si l'aviation ou transport par voie aérienne, est possible par ce qu'on appelle « le plus lourd que l'air », ou si elle ne l'est que par le moins lourd ou par un système mixte, dans lequel la pesanteur de l'appareil serait seulement atténuée.

La solution de cette question dépend tout d'abord des résultats que donneraient des expériences méthodiques entreprises pour connaître complètement ce qu'est, en toutes circonstances, l'action du vent relatif sur une surface d'aile ; à ce sujet, la première partie expose une méthode d'expérimentation qui pourrait être suivie dans le cas où cette surface d'aile est plane (aéroplane), ou même un peu creuse et concave, et qui ferait connaître l'action du vent relatif sur cet aéroplane dans toutes les nombreuses conditions variables, intéressant tant la surface que le vent, par des séries d'expériences, faites en air calme, repétées d'ailleurs en autant de stations qu'il peut être nécessaire pour embrasser toute l'étendue des états différents où peut être l'air que traversera l'aviateur, au point de vue de son action sur la surface frappée, et que nous appelons états dynamiques.

Mais ces résultats obtenus, en les supposant tels qu'ils ne soient pas éliminatoires du premier coup de toute possibilité de résoudre le problème du « plus lourd que l'air », ne suffiraient pas cependant pour en assurer à eux seuls la solution : ils permettront seulement, en effet, de fixer à l'industrie par des chiffres précis les conditions de légèreté qu'il est nécessaire qu'elle puisse réaliser dans la construction de tout l'appareil, mais surtout du moteur et de l'aéroplane, pour que la solution soit possible, de sorte qu'il faudra encore que l'industrie se déclare capable de cette réalisation. Or, la deuxième partie contient dans son commencement, en ce qui concerne cette légèreté, des chiffres trouvés par le calcul, dans un cas particulier où nos connaissances actuelles permettent de l'appliquer (aéroplane carré le plus petit possible), qui, encore qu'ils ne puissent être que grossièrement approchés par rapport à ceux que donneront les expériences dont il est parlé plus haut, suffisent cependant à donner l'impression des très-grandes

difficultés du problème qui serait ainsi posé à l'industrie ; on en peut conclure de suite que, assez loin encore actuellement du point de légèreté à atteindre, elle peut se livrer à des recherches dans cette voie sans craindre de faire trop léger, jusqu'au jour où les expériences pourront assigner des limites précises. La recherche du moteur léger semble sûrtout importante, plus encore que celle de l'aéroplane léger.

Escomptant les résultats de l'expérience et la réponse de l'industrie, nous avons étudié en détail le mouvement de l'aviateur muni d'un aéroplane; comment cet engin partira-t-il, se dirigera-t-il suivant diverses routes horizontales ou obliques sur l'horizontale à différentes allures, comment passera-t-il d'une allure à une autre, comment évoluera-t-il, comment s'arrêtera-t-il, quelles sont les conditions de l'atmosphère qui permettront ou non sa marche? Tout cela, dans l'air tel qu'il est réellement. De quels organes doit-il être muni pour réaliser à volonté tous ces mouvements et rester stable d'assiette et de route?

L'étude faite mène aux conclusions suivantes :



I

Description de l'Aviateur.

L'aviateur se compose d'un fuseau avec appendices et d'un aéroplane.

Le fuseau ou chambre abritant les personnes transportées et contenant l'appareil moteur du propulseur et autres appareils nécessaires a, pour ses formes extérieures, deux plans rectangulaires de symétrie, dont un, dit abréviativement plan *ag* dans ce qui suit contient le centre de gravité *g* de tout l'aviateur moins toutefois l'aéroplane; ces deux plans se coupent suivant une ligne dite l'axe du fuseau, dont le centre de gravité *g* est distant d'une quantité désignée par *l*. Les formes du fuseau sont avantageusement celles le plus ordinaires aux poissons, plutôt renflées en avant, aplaties en arrière, section maîtresse reportée sur l'avant par rapport au milieu de la longueur.

Les appendices du fuseau sont : une queue plane, analogue à celle des oiseaux, mobile autour d'une axe perpendiculaire au plan *ag*, et un gouvernail mobile autour d'un axe parallèle à ce plan et perpendiculaire à l'axe du fuseau; les points d'application sur ce gouvernail des actions qu'il reçoit du vent relatif doivent être, autant que possible, à la hauteur verticale du centre de gravité général G de l'aviateur complet.

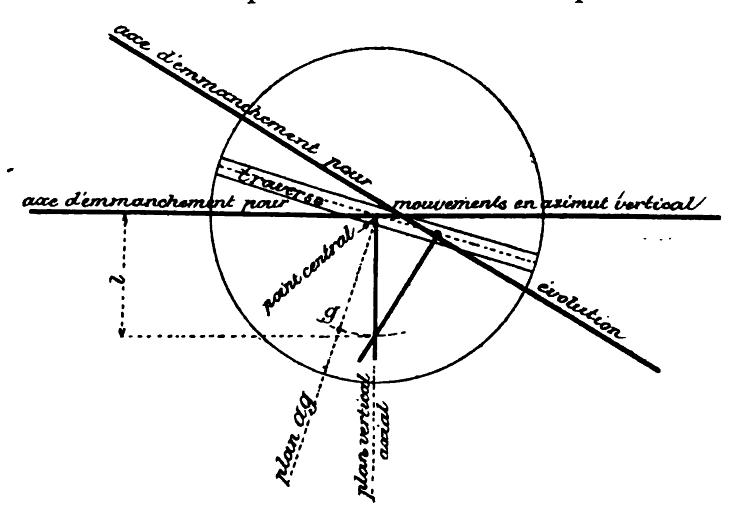
L'appareil moteur du propulseur doit être aussi simple que possible, sans changement de sens de la marche, on ne doit pas avoir à y toucher en route; en dehors de sa légèreté, il doit, en effet, présenter le moins de chances possible d'avaries par suite de sa simplicité, et d'autre part, comme il est à prévoir qu'il n'y aura à bord que fort peu de personnes, qu'absorberont d'autres manœuvres, comme on le verra plus loin, il importe qu'on n'ait qu'à le mettre en route et le stopper. On verra plus loin également que ce moteur paraît devoir être nécessairement un accumulateur d'énergie électrique.

L'étude du propulseur aura pour base des expériences directes faites avec l'appareil dont il est question plus haut pour l'étude de l'aéroplane seulement un peu modifié. En supposant, ce propulseur comme cela est probable, à ailes hélicoïdales, comme le sont ceux des navires, ces ailes devront être orientables, de façon à ce que l'effort de poussée, qui doit cependant toujours rester positif et même suffisamment grand, varie entre de certaines limites. Pour une disposition donnée des ailes, le propulseur

ainsi déterminé devra être sous l'influence de son moteur, — autorégulateur de la constance de la poussée qu'il donne, malgré le changement d'état dynamique de l'air attaqué, dans les limites où pratiquement ce changement peut avoir lieu.

L'étude a fait reconnaître la nécessité, à bord, de deux appareils correspondant d'ailleurs aux deux seules forces extérieures qui agissent sur l'aviateur, et qui sont la pesanteur et l'action du vent relatif. Le premier appareil, V M, réalise une verticale matérielle, c'est-à dire une pièce qui, indépendamment de tout état de mouvement dont est animé l'aviateur, reste exactement verticale. Le second appareil AI indique à chaque instant la direction et l'intensité de l'action du vent relatif, soit sa vitesse, si l'état dynamique de l'air dont ce vent est formé, est connu. Ce second appareil doit être situé tout-à fait en avant du fuseau, là où le mouvement propre de l'air n'est pas encore influencé par l'approche de l'aviateur.

L'aéroplane se compose de deux ailes situées et maintenues dans un même plan, et toujours parfaitement symétriques par rapport à une ligne de ce plan. On trouve naturellement par le raisonnement que ces ailes doivent, nécessairement, avoir la même constitution géométrique que les ailes des oiseaux, c'est-à-dire, avoir un bras de position mobile dans le plan de l'aile autour d'un de ses points, (dit point d'insertion) — à la suite de ce bras, et articulé à son extrémité, un premier article portant des éléments analogues aux rémiges, et à l'autre extrémité duquel est articulé un second article à rémiges. Ces trois pièces pouvant exécuter dans le plan de l'aile des rotations indépendantes autour de leur point d'articulation.



Les deux ailes sont montées folles sur un axe, dit d'emmanchement, qui réunit les deux points d'insertion, et est perpendiculaire à la ligne de symétrie des deux ailes l'une par rapport à l'autre. Le point de cet axe à égale distance des points d'insertion peut décrire une ligne droite, (traverse) perpendiculaire au plan *ag*, et

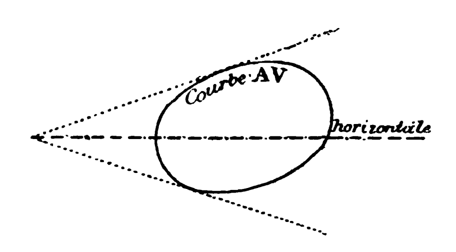
rencontrant l'axe du fuseau, en un point, dit point central, qui est le pied sur cet axe de la perpendiculaire abaissée du centre de gravité g.

L'axe d'emmanchement porte en son point milieu un bras à angle droit, qui, par le jeu de servo-moteurs, dont les rênes sont tenues par la verticale matérielle, est astreint à passer toujours par un point situé sur une perpendiculaire à l'axe du fuseau menée par le point central dans le plan vertical axial, et à une distance l de ce dernier point.

II

Mouvement en air calme.

Ainsi construit, l'aviateur peut, dans un air parfaitement calme, et d'état dynamique déterminé (fonction de ses pression, humidité, température), envisagé comme base dans l'étude de son tracé, avoir dans son plan vertical axial, toutes les allures uniformes représentées en direction et vitesse par les lignes allant d'un point *o* à tous les points situés à l'intérieur d'une courbe fermée AV, dite caractéristique moyenne de l'aviateur, tracée par rapport à l'horizontale dans le plan vertical axial susdit, et traversée par cette horizontale. Il peut également passer de l'une quelconque de ces allures à une autre quelconque. Ces allures établies ou les mouvements de transition de l'une à l'autre s'obtiennent par la manœuvre seule de l'aéroplane. Le gouvernail n'intervient pas, la queue est disposée, aussitôt qu'une légère inclinaison longitudinale de l'axe du fuseau se produit, par la combinaison de cette inclinaison avec la verticalité permanente de la pièce matérielle VM, et cette disposition donnée à la queue produit la stabilité de l'assiette longitudinale.



La stabilité de l'assiette transversale résulte de la rotation possible du fuseau autour de son axe, de faible amplitude, par le jeu des servo-moteurs indiqués plus haut.

La stabilité autour de la verticale est assurée par les formes du fuseau et surtout par le tracé convenable de l'aéroplane, avec la condition que la poussée du propulseur soit toujours positive et suffisamment grande.

Le propulseur est disposé, c'est-à-dire ses ailes sont orientées, par l'appareil AI lui-même autant que possible, ou tout au moins d'après la position de son stylet, de façon que la poussée augmente avec l'ascendance de la route en air calme.

Dans ces conditions, l'aéroplane peut, par l'effet des différentes dispositions que lui donne le manœuvrier, donner lieu à la production, sous

l'action du vent relatif, de toutes les forces nécessaires à la conservation des différentes allures correspondant à la courbe AV ou au passage de l'une quelconque à une autre quelconque d'entr'elles.

L'aéroplane est, pour ainsi dire, un clavier de forces, entre les mains du manœuvrier.

Sous un vent relatif, de vitesse égale à l'unité, *vr1*, perpendiculaire à l'axe d'emmanchement, et fait d'air dans l'état dynamique moyen, il donne un faisceau de forces aboutissant toutes à l'intérieur d'une courbe tracée par rapport à *vr1*, et dite courbe caractéristique moyenne de l'aéroplane.

Le vent relatif — et par suite la tige de l'appareil AI — est constamment contenu dans le plan axial vertical, ou parallèle à ce plan et le stylet de l'appareil se meut à l'intérieur d'une courbe AI dont le tracé réellement figuré à bord de l'aviateur, est maintenu constamment placé par rapport à l'horizontale, grâce à la verticale matérielle ; cette courbe est placée sous les yeux du manœuvrier, qui a constamment à y suivre la position du stylet ; mis au courant de l'étude faite lors du tracé de l'aéroplane, laquelle a déterminé la force appliquée au centre de gravité général, en fonction de l'indication de ce stylet, d'une part, et de la disposition de l'aéroplane, d'autre part, jouant toutes deux le rôle de variables indépendantes, le manœuvrier, qui suit des yeux les variations de la première, sait donc, à tout instant, disposer l'aéroplane, de façon à ce qu'au centre de gravité, il y ait la force nécessaire à la conservation ou à la modification de mouvement qu'il a en vue d'obtenir : pour aider sa mémoire, et parce que le mouvement rectiligne uniforme sera le cas tout-à-fait ordinaire et presque constant de la navigation aérienne, des indications suffisantes seront portées à l'intérieur de la courbe AI, pour lui indiquer, en regard de toute position du stylet, quelle est la disposition de l'aéroplane, correspondant à une force nulle au centre de gravité, soit à l'équilibre des forces, et par conséquent au maintien de l'allure actuelle.

Si, lorsque l'état dynamique de l'air traversé change, par rapport à l'état moyen type envisagé jusqu'ici, le propulseur, sous l'influence de son moteur, donne automatiquement, comme nous l'avons dit plus haut, pour une position bien déterminée du stylet de l'appareil AI, toujours la même poussée, quelque soit cet état dynamique de l'air, dans les limites d'ailleurs assez resserrées où il varie, alors la même courbe AI identiquement, sert, encore que les courbes caractéristiques de l'aviateur AV et de l'aéroplane

changent, et les manœuvres restent sans changement et indépendantes de l'état dynamique de l'air, propriété précieuse qui dispense de la complication d'un réglage de la correspondance entre les indications de l'appareil AI et les manœuvres à faire, selon cet état. Le manœuvrier donc a les yeux sur la même courbe AI, et manœuvre toujours de même, sans s'occuper des variations de cet état. L'étude fera connaître si la disposition du propulseur, pour qu'il remplisse la condition énoncée plus haut, doit avoir besoin d'un réglage modifiant la disposition donnée par l'appareil AI, et donné en fonction de l'état dynamique de l'air au vu des indications d'instruments appropriés faisant connaître cet état.

En plus des mouvements dans le plan axial vertical, l'aviateur pourra aussi évoluer en dehors de ce plan; il suffira au manœuvrier d'orienter l'aéroplane — comme font avec leurs ailes les oiseaux qui planent — du côté où l'on veut tourner. L'aéroplane recevra à chaque instant une disposition qui ne diffèrera de celle inscrite en regard de la position actuelle du stylet de l'appareil AI, que de façon à apporter à la composante verticale de la force *va* d'équilibre, correspondant à cette position, de changement que nécessite l'état de mouvement vertical, que l'on veut donner à l'aviateur; la manœuvre du gouvernail, connexe à chaque instant de l'orientation actuelle, maintiendra constamment le vent relatif et la vitesse dans le plan axial vertical. L'angle d'orientation, lui, variera dans le temps suivant une loi arbitraire, d'où dépendront l'étendue et la rapidité de l'évolution.

III

Mouvement dans l'air agité, tel qu'il est réellement

Les cas de mouvements par vent absolu, se ramènent, au point de vue des forces agissantes et des manœuvres à faire, à des cas de mouvements par air calme, à condition que le vent relatif, résultant de la composition géométrique du vent absolu et de la vitesse absolue de l'aviateur prise en sens contraire, soit toujours situé dans le plan axial vertical, ce à quoi l'aviateur est construit pour tendre, automatiquement, et le gouvernail aidera, s'il y a lieu. La proposition qui vient d'être énoncée est évidente, en considération de ce qu'il n'y a que deux forces extérieures agissant sur l'aviateur, la pesanteur, qui est la même dans les deux sortes de mouvements, et l'action sur les différentes parties de l'aviateur du vent relatif, qui, sous la condition dite, est la même dans les cas correspondants des deux sortes de mouvement.

L'atmosphère agitée par des vents absolus doit être sondée au-devant de l'aviateur, qui doit être prévenu suffisamment d'avance, pour toute partie de son trajet, de l'existence ou de la probabilité dans cette région de tourbillons, de vents variant trop brusquement pour être maniables, de vents violents debout qui doivent l'empêcher d'avancer suffisamment, ou de vents ne pouvant lui permettre, du fait de la trop grande composante verticale de leur vitesse, de suivre dans cette région la trajectoire moyenne horizontale ou légèrement oblique qu'il doit y avoir, pour se rendre d'un point à un autre, par une route parallèle au sol moyen.

En dehors du cas de l'existence de tels vents non maniables, d'autant moins nombreux pour lui qu'il aura plus de vitesse, et qu'en air calme il pourra plus monter et plus descendre, l'aviateur construit comme on l'a dit, pourra se diriger dans l'atmosphère telle qu'elle est réellement, et réaliser son trajet.

Deux personnes au moins paraissent nécessaires pour le conduire : un pilote-vigie et un manœuvrier de l'aéroplane ; une troisième personne — si on en peut embarquer trois — paraît aussi nécessaire pour suppléer l'une des deux autres en cas de fatigue ou de défaillance quelconque de

celle-ci ; c'est dire que toute personne montant dans un aviateur devra savoir le diriger, la manœuvre de l'aéroplane pourra s'apprendre à terre ; le rôle de pilote-vigie ne s'apprendra qu'en route, à côté d'une autre personne expérimentée.

Le pilote-vigie est à l'avant ; il regarde le sol, qui doit rester suffisamment proche pour être constamment visible ; il voit les signaux destinés à le renseigner ; il juge, par le relèvement des objets situés à terre si la route suivie est bien celle qui convient. Il commande l'orientation de l'aéroplane pour l'évolution, ou le changement de direction en azimut vertical ; il manœuvre le gouvernail, de façon à aider à maintenir constamment et quelque soit le mouvement, le vent relatif et l'appareil AI dans le plan vertical axial, ce à quoi l'aviateur tend automatiquement.

Le manœuvrier de l'aéroplane, n'a, ordinairement, et presque constamment, qu'à suivre des yeux le stylet de l'appareil AI, et à donner à tout instant à l'aéroplane la disposition *da* d'équilibre des forces, inscrite en regard du stylet de façon à maintenir uniforme le mouvement actuel ; si le stylet tend à sortir de la courbe AI, le manœuvrier aura, en prévenant le pilote-vigie et s'entendant avec lui, à produire, par l'aéroplane, le déséquilibre voulu des forces, pour modifier convenablement la direction de la route et la vitesse de l'aviateur, et maintenir le stylet à l'intérieur de la courbe AI, dut cela faire sortir la route de l'azimut vertical observé jusque-là, ce qu'une évolution postérieure pourra corriger.

Le manœuvrier produit aussi, par l'aéroplane, le déséquilibre des forces pour produire tel changement de route que lui commande le pilote-vigie, en dehors d'une évolution, et si cette évolution lui est commandée, il oriente l'aéroplane, tout en le disposant toujours d'après l'appareil AI, sauf modification de la force verticale que donnerait cette disposition, et il règle cette orientation d'après le sens, l'amplitude et le temps indiqués pour l'évolution.

L'aviateur-aéroplane étudié n'a que le vol plané et n'a pas le battement d'ailes des oiseaux, aussi ne peut-il partir ou atterrir qu'en des stations déterminées, bien outillées mécaniquement dans ces buts.

La question de la sécurité n'a pas été traitée : la grandeur de l'espace offert aux mouvements de l'aviateur, permettra de bien différencier les différentes lignes de parcours ; on disposera pour cela de la dimension : hauteur, que n'ont pas les moyens de locomotion en contact avec le sol ; l'aviateur a d'ailleurs de multiples ressources pour changer la direction de sa route à partir d'un point donné où il se trouve, et il dispose d'un faisceau considérable de directions nouvelles ; aussi le choc ne nous semble-t-il pas

à craindre avec de l'attention du pilote-vigie, encore que les vitesses des aviateurs paraissent devoir être nécessairement considérables; les considérations développes dans cette étude donnent l'impression que des vitesses en air calme de 40 à 50 mètres par seconde seront peut-être nécessaires, et que de plus grandes seraient plus avantageuses.

D'ailleurs, faut-il s'étonner de pareils chiffres ? Non, à mon avis : l'intérêt principal de l'aviateur sera d'être plus rapide que tous les autres moyens de locomotion. Puis, les oiseaux grands voiliers ne les atteignent-ils pas ; n'attribue-t-on pas, au martinet, que l'œil ne peut pas toujours suivre dans son vol, des vitesses supérieures à 80 mètres ? Quant à une avarie du matériel, la qualité des matériaux, — qui devra être nécessairement exceptionnellement bonne, pour qu'ils allient la plus grande légèreté à la résistance voulue, — la rend aussi fort peu probable. La sécurité, cependant, n'est pas absolue, et des dispositious sont à rechercher pour l'assurer.

Il y a le plus grand intérêt à ce que le poids total de l'appareil, réglé à une valeur invariable pour chaque aviateur à chaque embarquement qu'il fera de personnel et de matériel, se maintienne sans changement pendant tout le mouvement, et reste appliqué au même point. L'aviateur devra donc pouvoir se débarrasser immédiatement de toute quantité de pluie ou de neige tombant sur lui ; quant au moteur, cette condition semble imposer que sa réserve d'énergie soit portée par un accumulateur électrique, remplaçable par un identique à chaque station de réapprovisionnement , il alimenterait le moteur du propulseur et celui d'une petite pompe comprimant de l'air pour le service des servo-moteurs, (par exemple).

On voit quel vaste champ d'études et de recherches intéressantes, ouvrirait la réalisation de l'aviateur aéroplane envisagé dans ce travail, si elle était reconnue possible : il faudrait tout d'abord que les expériences à faire (celles que nous avons décrites ou d'autres), pour bien mesurer les actions du vent relatif sur les surfaces frappées, fissent luire l'espoir de la possibilité de cette réalisation.

Puisse cet espoir luire quelque jour, et puisse même ce jour être prochain !

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

PAGES

Etude de l'action de l'air sur une surface plane en mouvement relatif. — Expériences à faire 3

Grandeur de l'action N 4

Point d'impact 6

Expériences à faire. — Principe 8

Appareil d'expériences 9

Longueur du chemin de roulement. — Poids de l'appareil roulant 13

Autre système d'expériences 20

Expériences directes sur les propulseurs 21

DEUXIÈME PARTIE

Etude du mouvement d'un aviateur-aéroplane en air calme 23

Notations et abréviations 25

I. — Allure de régime horizontale en air calme 29

Poids utile transporté. — Angle α_r favorable 30

Calculs pour un aéroplane carré avec emmanchement parallèle à son côté 32

Aperçu des difficultés du problème 38

II. — Allures rectilignes horizontales, à des vitesses différentes de celle de régime. — Constitution géométrique des ailes 42

Comparaison des ailes avec celles des oiseaux 47

Courbe caractéristique d'un aéroplane 49

Etude d'une aile particulière, rectangulaire 51

III. — Passage d'une allure rectiligne horizontale à une autre également rectiligne horizontale prolongeant la première. Nécessité d'une queue 54

IV. — Allures obliques, ascendantes, ou descendantes 56

Utilité d'un propulseur à ailes orientables 57

V. — Passage d'une allure oblique à une autre d'obliquité différente contenue dans le même plan vertical 59

VI. — Courbe caractéristique de l'aviateur.......... 61
VII. — Manœuvres en restant dans le plan axial vertical. Appareil indicateur du vent relatif et courbe AI.............................. 62
VIII. — Evolution en plan horizontal en air calme. Orientation de l'aéroplane Gouvernail à axe vertical.... 69
Exemple numérique...... 74
IX. — Etude de la stabilité des équilibres....... 77
X. — Appareil réalisant une verticale matérielle....................... 86
XI — Evolution en air calme dans le cas le plus général.. 89
XII. — Départ et atterrissage... 92

TROISIÈME PARTIE

Etude du mouvement d'un aviateur-aéroplane, dans l'atmosphère, telle qu'elle est réellement.. 97
Manœuvres par vent absolu.................... 99
Vents absolus non maniables... 105
Effet de la variation de l'état dynamique de l'air et de celle du poids total.... 108

Résumé..... 111
I. — Description de l'aviateur 113
II. — Mouvement en air calme.............. 116
III. — Mouvement dans l'air agité, tel qu'il est réellement.... 119

Nantes, Imprimerie Maurice Schwob & Cie, Place du Commerce, 12

